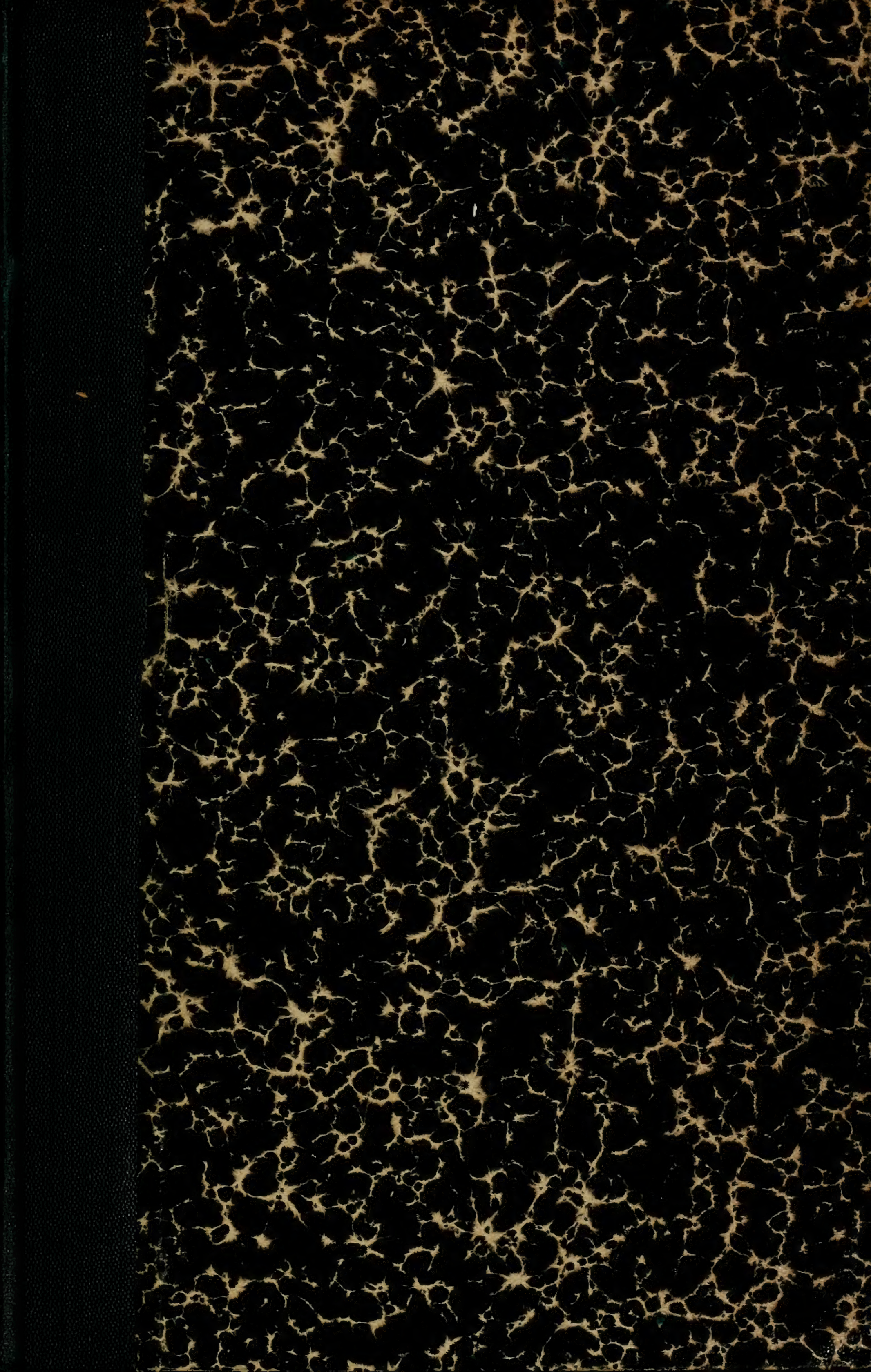
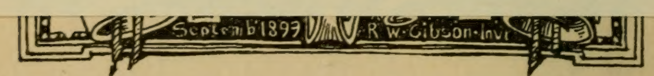



Septemb'1899
R.W.Gibson.Inv

ARCHIVES

DES

SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

Genève. — Imprimerie Ramboz et Schuchardt.

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

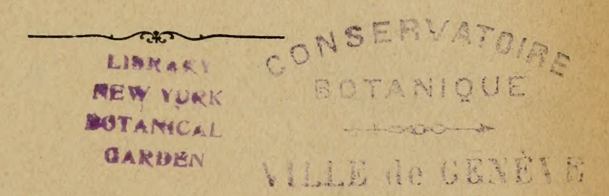
ARCHIVES

DES

SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

NOUVELLE PÉRIODE

TOME SOIXANTE - QUATRIÈME



GENÈVE

BUREAU DES ARCHIVES, RUE DE LA PÉLISSERIE, 18

LAUSANNE
GEORGES BRIDEL
Place de la Louve, 1

PARIS
SANDOZ et FISCHBACHER
Rue de Seine, 33

Dépôt pour l'ALLEMAGNE, H. GEORG, A BALE

1878

RÉSUMÉ MÉTÉOROLOGIQUE

DE L'ANNÉE 1877

POUR

GENÈVE ET LE GRAND SAINT-BERNARD

PAR

M. E. PLANTAMOUR

Professeur

Ainsi que cela a eu lieu pour les années antérieures, le résumé de l'année 1877 se rapporte à l'année météorologique commençant le 1er décembre 1876 et finissant le 30 novembre 1877 ; c'est pour la marche de la température de 5 jours en 5 jours, soit pour les pentades seulement, que l'origine des périodes coïncide avec le 1er janvier 1877, soit avec le commencement de l'année civile. Du reste, pour l'année 1877, il n'y a pas eu, en ce qui concerne la température, une différence bien grande entre l'année météorologique et l'année civile ; à Genève, le mois de décembre a été de 2°,33 plus froid en 1877 qu'en 1876, ce qui donne pour l'année civile une température moyenne d'un peu moins de 0°,2 plus basse. Au St-Bernard, la différence est de — 2°,71 pour le mois de décembre, soit d'un peu plus de deux dixièmes pour l'année civile.

Pour Genève, la comparaison avec les valeurs moyennes a été faite d'après les résultats consignés dans les « Nouvelles études sur le climat de Genève » et qui sont déduits des observations faites jusqu'à l'année 1875 inclusivement. Pour le St-Bernard, la comparaison a été faite avec les anciennes moyennes, qui ne comprennent que l'année 1867 inclusivement.

Température a GENÈVE 1877.

ÉPOQUE	Midi	2 h.	4 h.	6 h.	8 h.	10 h.	(Minuit)	(14 h.)	(16 h.)	18 h.	20 h.	22 h.	Température moyenne	Minimum moyen	Maximum moyen
	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
Déc. 1876.	+ 6,73	+ 6,93	+ 6,28	+ 5,56	+ 5,06	+ 4,91	+ 4,25	+ 3,60	+ 3,27	+ 3,44	+ 3,56	+ 4,97	+ 4,88	+ 1,90	+ 8,35
Janv. 1877	+ 6,05	+ 6,17	+ 5,62	+ 4,50	+ 3,81	+ 3,36	+ 2,93	+ 2,83	+ 2,71	+ 2,53	+ 2,28	+ 4,13	+ 3,91	+ 0,72	+ 7,89
Février . .	+ 6,34	+ 7,06	+ 6,78	+ 5,76	+ 4,76	+ 4,11	+ 3,50	+ 2,68	+ 2,10	+ 2,28	+ 2,64	+ 4,67	+ 4,39	+ 1,09	+ 8,24
Mars . . .	+ 6,26	+ 6,93	+ 6,50	+ 5,24	+ 4,37	+ 3,99	+ 3,43	+ 2,57	+ 1,85	+ 2,21	+ 3,08	+ 4,93	+ 4,28	+ 1,39	+ 7,84
Avril . . .	+11,14	+11,93	+12,00	+11,30	+10,13	+ 8,46	+ 7,04	+ 5,52	+ 4,63	+ 5,42	+ 7,92	+10,11	+ 8,80	+ 4,46	+13,67
Mai	+13,53	+14,70	+14,42	+13,09	+11,48	+10,44	+ 9,45	+ 8,11	+ 7,57	+ 8,75	+10,98	+12,47	+11,25	+ 7,31	+16,19
Juin. . . .	+22,20	+23,22	+23,08	+21,73	+19,89	+18,06	+16,45	+14,93	+14,54	+16,07	+18,96	+20,68	+19,15	+13,98	+25,08
Juillet. . .	+21,66	+22,11	+22,24	+21,30	+19,06	+17,27	+15,94	+14,88	+14,52	+15,82	+18,59	+20,41	+18,65	+14,01	+24,10
Août . . .	+22,83	+23,85	+23 67	+22,30	+20,06	+18,29	+16,83	+15,53	+15,00	+16,08	+19,35	+21,53	+19,61	+14,62	+25,52
Septembre	+17,16	+18,02	+17,64	+15,77	+13,68	+12,37	+11,13	+ 9,63	+ 8,71	+ 9,49	+12,79	+15,73	+13,51	+ 8,61	+18,96
Octobre. .	+11,46	+12,45	+11,68	+ 9,64	+ 7,96	+ 6,82	+ 5,70	+ 4,55	+ 3,91	+ 4,59	+ 6,05	+ 9,75	+ 7,88	+ 3,27	+13,50
Novembre	+ 8,55	+ 8,85	+ 8,30	+ 7,41	+ 6,75	+ 6,20	+ 5,74	+ 5,16	+ 4,74	+ 4,97	+ 5,35	+ 7,42	+ 6,62	+ 3,52	+10,64
Hiver . . .	+ 6,37	+ 6,71	+ 6,21	+ 5,26	+ 4,53	+ 4,13	+ 3,56	+ 3,05	+ 2,71	+ 2,77	+ 2,83	+ 4,59	+ 4,39	+ 1,24	+ 8,16
Printemps	+10,30	+11,18	+10,96	+ 9,86	+ 8,65	+ 7,62	+ 6,64	+ 5,40	+ 4,68	+ 5,46	+ 7,32	+ 9,16	+ 8,10	+ 4,39	+12,55
Été	+22,23	+23,06	+23,00	+21,78	+19,67	+17,87	+16,41	+15,12	+14,69	+15,99	+18,97	+20,87	+19,14	+14,21	+24,90
Automne .	+12,38	+13,10	+12,53	+10,93	+ 9,45	+ 8,45	+ 7,52	+ 6,42	+ 5,77	+ 6,33	+ 8,04	+10,95	+ 9,32	+ 5,11	+14,36
Année . .	+12,86	+13,55	+13,22	+12,00	+10,61	+ 9,55	+ 8,56	+ 7,52	+ 6,99	+ 7,67	+ 9,33	+11,43	+10,27	+ 6,26	+15,03

Température au SAINT-BERNARD, 1877.

ÉPOQUE.	Midi	2 h.	4 h.	6 h.	8 h.	10 h.	(Minuit)	(14 h.)	(16 h.)	18 h.	20 h.	22 h.	Température moyenne.
	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
Décembre 1876	– 3,87	– 4,13	– 5,27	– 5,31	– 5,30	– 5,53	– 5,65	– 5,53	– 5,42	– 5,59	– 5,71	– 4,85	– 5,18
Janvier 1877 . .	– 6,43	– 6,14	– 7,61	– 8,07	– 8,07	– 8,05	– 8,09	– 8,14	– 8,01	– 8,09	– 8,03	– 7,55	– 7,69
Février	– 6,32	– 6,35	– 7,65	– 8,61	– 8,71	– 8,75	– 8,70	– 9,05	– 9,23	– 9,14	– 8,73	– 7,52	– 8,23
Mars	– 5,89	– 5,82	– 6,94	– 8,31	– 8,58	– 8,95	– 9,32	–10,02	–10,30	– 9,93	– 8,17	– 6,89	– 8,26
Avril	– 0,21	– 0,61	– 1,70	– 3,42	– 4,30	– 4,69	– 5,01	– 5,78	– 6,28	– 5,58	– 3,08	– 0,98	– 3,47
Mai.	+ 2,55	+ 2,49	+ 1,29	– 0,39	– 1,93	– 2,58	– 3,17	– 3,84	– 4,32	– 3,55	– 0,90	+ 1,27	– 1,09
Juin	+10,21	+10,76	+ 9,91	+ 8,15	+ 6,40	+ 5,76	+ 5,17	+ 4,35	+ 4,02	+ 4,95	+ 7,23	+ 9,01	+ 7,16
Juillet	+ 8,67	+ 8,63	+ 8,16	+ 7,42	+ 6,30	+ 5,54	+ 4,88	+ 4,39	+ 4,17	+ 4,82	+ 6,12	+ 7,58	+ 6,39
Août	+11,33	+11,48	+10,96	+ 9,69	+ 8,54	+ 7,83	+ 7,15	+ 6,37	+ 6,03	+ 6,98	+ 8,74	+10,41	+ 8,79
Septembre . . .	+ 4,80	+ 4,92	+ 4,21	+ 3,10	+ 2,29	+ 1,83	+ 1,44	+ 0,80	+ 0,47	+ 1,03	+ 2,53	+ 3,90	+ 2,61
Octobre	– 0,44	– 0,33	– 1,31	– 1,85	– 2,32	– 2,89	– 3,13	– 3,34	– 3,28	– 2,93	– 2,34	– 1,40	– 2,13
Novembre . . .	– 1,52	– 1,60	– 2,41	– 2,91	– 3,20	– 3,48	– 3,45	– 3,40	– 3,27	– 3,11	– 3,01	– 2,48	– 2,82
Hiver	– 5,51	– 5,51	– 6,82	– 7,29	– 7,32	– 7,40	– 7,44	– 7,52	– 7,50	– 7,55	– 7,45	– 6,61	– 6,99
Printemps . . .	– 1,19	– 1,32	– 2,46	– 4,05	– 4,94	– 5,42	– 5,84	– 6,54	– 6,97	– 6,36	– 4,06	– 2,21	– 4,28
Été	+10,07	+10,29	+ 9,68	+ 8,42	+ 7,09	+ 6,38	+ 5,74	+ 5,05	+ 4,75	+ 5,59	+ 7,36	+ 9,00	+ 7,45
Automne	+ 0,93	+ 0,98	+ 0,15	– 0,57	– 1,09	– 1,53	– 1,73	– 1,99	– 2,04	– 1,68	– 0,95	– 0,01	– 0,79
Année	+ 1,08	+ 1,14	+ 0,17	– 0,84	– 1,54	– 1,97	– 2,29	– 2,73	– 2,92	– 2,48	– 1,24	+ 0,08	– 1,12

Formules de la variation diurne de la température à Genève, pendant l'année 1877.

Décembre 1876	$t = + 4{,}88^\circ + 1{,}64^\circ \sin (\mu + 38{,}6^\circ) + 0{,}57^\circ \sin (2\mu + 67{,}5^\circ) + 0{,}24^\circ \sin (3\mu + 36{,}4^\circ)$
Janvier 1877 . .	$t = + 3{,}91 + 1{,}71 \sin (\mu + 45{,}7) + 0{,}74 \sin (2\mu + 43{,}8) + 0{,}29 \sin (3\mu + 68{,}9)$
Février.	$t = + 4{,}39 + 2{,}34 \sin (\mu + 36{,}7) + 0{,}60 \sin (2\mu + 53{,}9) + 0{,}07 \sin (3\mu + 39{,}5)$
Mars	$t = + 4{,}28 + 2{,}24 \sin (\mu + 42{,}7) + 0{,}63 \sin (2\mu + 69{,}8) + 0{,}10 \sin (3\mu + 305{,}9)$
Avril	$t = + 8{,}80 + 3{,}57 \sin (\mu + 39{,}6) + 0{,}49 \sin (2\mu + 136{,}0) + 0{,}25 \sin (3\mu + 221{,}3)$
Mai.	$t = + 11{,}25 + 3{,}27 \sin (\mu + 48{,}5) + 0{,}28 \sin (2\mu + 105{,}7) + 0{,}38 \sin (3\mu + 273{,}0)$
Juin	$t = + 19{,}15 + 4{,}22 \sin (\mu + 48{,}7) + 0{,}31 \sin (2\mu + 145{,}6) + 0{,}31 \sin (3\mu + 268{,}1)$
Juillet	$t = + 18{,}65 + 3{,}90 \sin (\mu + 51{,}5) + 0{,}24 \sin (2\mu + 158{,}4) + 0{,}35 \sin (3\mu + 226{,}2)$
Août	$t = + 19{,}61 + 4{,}36 \sin (\mu + 49{,}8) + 0{,}35 \sin (2\mu + 119{,}0) + 0{,}38 \sin (3\mu + 239{,}8)$
Septembre . . .	$t = + 13{,}51 + 4{,}43 \sin (\mu + 49{,}8) + 0{,}72 \sin (2\mu + 95{,}8) + 0{,}35 \sin (3\mu + 237{,}7)$
Octobre.	$t = + 7{,}88 + 4{,}01 \sin (\mu + 48{,}6) + 0{,}86 \sin (2\mu + 74{,}4) + 0{,}02 \sin (3\mu + 242{,}4)$
Novembre . . .	$t = + 6{,}62 + 1{,}90 \sin (\mu + 45{,}4) + 0{,}56 \sin (2\mu + 70{,}1) + 0{,}05 \sin (3\mu + 97{,}5)$

Formules de la variation diurne de la température au St-Bernard, pendant l'année 1877.

Décembre 1876.	$t = - 5{,}18 + 0{,}60 \sin (\mu + 70{,}2) + 0{,}42 \sin (2\mu + 71{,}3) + 0{,}31 \sin (3\mu + 76{,}5)$
Janvier 1877 . .	$t = - 7{,}69 + 0{,}69 \sin (\mu + 74{,}4) + 0{,}51 \sin (2\mu + 60{,}5) + 0{,}29 \sin (3\mu + 37{,}1)$
Février.	$t = - 8{,}23 + 1{,}18 \sin (\mu + 67{,}3) + 0{,}72 \sin (2\mu + 74{,}7) + 0{,}19 \sin (3\mu + 33{,}7)$
Mars	$t = - 8{,}26 + 2{,}00 \sin (\mu + 64{,}1) + 0{,}69 \sin (2\mu + 94{,}9) + 0{,}08 \sin (3\mu + 329{,}5)$
Avril	$t = - 3{,}47 + 2{,}74 \sin (\mu + 69{,}6) + 0{,}90 \sin (2\mu + 101{,}6) + 0{,}18 \sin (3\mu + 231{,}7)$
Mai.	$t = - 1{,}09 + 3{,}25 \sin (\mu + 64{,}7) + 0{,}80 \sin (2\mu + 91{,}9) + 0{,}17 \sin (3\mu + 229{,}7)$
Juin	$t = + 7{,}16 + 3{,}18 \sin (\mu + 61{,}6) + 0{,}56 \sin (2\mu + 79{,}6) + 0{,}26 \sin (3\mu + 268{,}4)$
Juillet	$t = + 6{,}39 + 2{,}22 \sin (\mu + 56{,}7) + 0{,}34 \sin (2\mu + 95{,}1) + 0{,}06 \sin (3\mu + 186{,}3)$
Août	$t = + 8{,}79 + 2{,}60 \sin (\mu + 59{,}0) + 0{,}47 \sin (2\mu + 102{,}1) + 0{,}16 \sin (3\mu + 255{,}3)$
Septembre . . .	$t = + 2{,}61 + 2{,}06 \sin (\mu + 60{,}3) + 0{,}51 \sin (2\mu + 92{,}2) + 0{,}10 \sin (3\mu + 268{,}3)$
Octobre	$t = - 2{,}13 + 1{,}39 \sin (\mu + 63{,}4) + 0{,}35 \sin (2\mu + 75{,}6) + 0{,}13 \sin (3\mu + 57{,}9)$
Novembre . . .	$t = - 2{,}82 + 0{,}83 \sin (\mu + 75{,}7) + 0{,}34 \sin (2\mu + 52{,}1) + 0{,}15 \sin (3\mu + 51{,}2)$

Si l'on compare la température des mois, des saisons, et de l'année avec les valeurs moyennes déduites, pour Genève des 50 années 1826-75, et pour le St-Bernard des 27 années 1841-67, on trouve les différences suivantes :

ÉPOQUE.	ÉCARTS. Température. Genève.	Température. Saint-Bernard.	Décroissement entre les deux stations.
Décembre 1876.	+4°,08	+2°,41	+1°,67
Janvier 1877...	+3,99	+1,35	+2,64
Février........	+2,79	+0,38	+2,41
Mars..........	—0,32	—0,94	+0,62
Avril..........	—0,17	—0,20	+0,03
Mai...........	—1,95	—1,60	—0,35
Juin..........	+2,34	+3,07	—0,73
Juillet.........	—0,16	—0,23	+0,07
Août..........	+1,70	+2,81	—1,11
Septembre.....	—1,15	—0,71	—0,44
Octobre.......	—2,00	—1,65	—0,35
Novembre.....	+2,07	+2,48	—0,41
Hiver 1877.....	+3,64	+1,41	+2,23
Printemps.....	—0,82	—0,92	+0,10
Été...........	+1,29	+2,03	—0,74
Automne......	—0,38	+0,03	+0,41
Année 1877....	+0,92	+0,64	+0,28

A Genève, la température de l'année 1877 peut être qualifiée d'excessive, en ce sens que pour tous les mois, sauf pour trois, les écarts dépassent très notablement les limites de l'écart probable, avec le signe + pour les mois de décembre, janvier, février, juin, août et novembre, avec le signe — pour les mois de mai, septembre et octobre. Depuis l'année 1825, on ne trouve que trois années avec un mois de décembre plus chaud, une seule année avec un mois de janvier plus chaud ; quatre années avec un mois de février plus chaud, sept années avec un mois d'août plus chaud, trois années avec un mois de novembre plus chaud, enfin la température du mois de juin 1877 dépasse celle observée dans ce mois pendant les 51 dernières années. Les écarts négatifs sont moins prononcés ; on trouve en effet dans cette même série d'années 9 mois de mai plus froids qu'en 1877, 12

mois de septembre plus froids et 4 mois d'octobre plus froids. Il est à remarquer que le mois d'octobre de l'année précédente avait été très exceptionnellement chaud, et que le même mois présente, pour ces deux années consécutives, une différence de 4°,21. La persistance d'écarts positifs très forts dans les mois de décembre, janvier et février a pour conséquence une élévation tout à fait exceptionnelle de la température pour l'hiver de 1877 ; depuis 1825, il ne se trouve qu'une seule année, en 1834, où l'hiver ait été plus doux. Il ne se trouve également que 3 années où l'été ait été plus chaud qu'en 1877, tandis que l'abaissement de température au printemps et en automne est beaucoup moins prononcé ; aussi la température moyenne de l'année 1877 est-elle très élevée, elle n'a été dépassée que pour quatre années depuis 1825.

L'élévation de la température dans les mois d'hiver a été beaucoup moins prononcée au St-Bernard qu'à Genève, en sorte que le décroissement a été de plus de 2° plus rapide qu'il ne l'est à l'ordinaire dans cette saison, en passant de la station inférieure à la station supérieure. Au contraire, l'élévation de la température dans les mois d'été a été plus prononcée au St-Bernard qu'à Genève, en sorte que le décroissement a été moins rapide que de coutume. Le décroissement normal entre Genève et le St-Bernard est de 9°,15 en hiver et de 12°,43 en été, tandis qu'en 1877 on trouve 11°,38 en hiver et 11°,69 en été, c'est-à-dire à 3 dixièmes près la même quantité, au lieu d'une différence de 3°,3.

Les tableaux suivants renferment, sous la même forme que dans les résumés antérieurs, les résultats principaux que l'on peut déduire de la température moyenne des 24

heures, au point de vue des anomalies et de la variabilité de la température. A Genève, le jour le plus froid de l'année a été le 11 mars, avec une température moyenne de — 4°,11, le jour le plus chaud, le 12 juin, avec une température moyenne de + 25°,15. Par une anomalie certainement très rare, les deux extrêmes du jour le plus froid et du jour le plus chaud se suivent à 3 mois seulement d'intervalle, la différence entre les deux étant de 29°,37. C'est sur le 11 mars que tombe l'écart négatif le plus considérable — 8°,36, mais c'est sur le 9 janvier que tombe l'écart positif le plus considérable + 14°,36. La température moyenne du 9 janvier 1877 a été de 14°,04, c'est-à-dire celle qui correspond en moyenne à la date du 22 mai ; le 1er janvier avait présenté aussi une température très exceptionnelle de + 13°,26, qui correspond en moyenne à la date du 16 mai, mais l'écart pour ce jour n'est que de 13°,47.

Au St-Bernard, le jour le plus froid est le 28 février, avec une température moyenne de — 19°,37 ; c'est pour ce jour également que l'on rencontre l'écart négatif le plus considérable — 11°,08. Le jour le plus chaud a été le 19 août, avec une température moyenne de + 15°,74 ; mais l'écart positif de ce jour est de 9°,79 seulement, tandis qu'on trouve + 13°,47 pour l'écart du 31 décembre, la température moyenne de ce jour a été de + 4°,90, c'est-à-dire celle qui correspond en moyenne à la date du 24 juin. L'amplitude des variations accidentelles est toujours plus grande au St-Bernard qu'à Genève, tandis que l'amplitude des variations périodiques est plus faible ; la différence entre le jour le plus chaud et le jour le plus froid en 1877 a été de 35°,11 au St-Bernard, de 29°,37 seulement à Genève ; l'amplitude

comprise entre les écarts extrêmes a été de 24°,55 au St-Bernard, de 22°,72 à Genève.

J'ai relevé également, pour Genève, la température moyenne de 5 jours en 5 jours, pour l'année civile, du 1er janvier au 31 décembre 1877, en inscrivant à côté l'écart, soit la différence avec le chiffre calculé par la formule déduite des 50 années 1826-75. Lorsque l'écart dépasse les limites de l'écart probable pour la pentade correspondante et constitue ainsi une anomalie, il est mis entre parenthèses. Sur les 73 pentades de l'année 1877, on trouve 43 écarts positifs et 30 écarts négatifs ; sur les 43 écarts positifs, 27 dépassent les limites de l'écart probable, et l'écart positif maximum de + 9°,43 tombe sur la période du 6 au 10 janvier. Sur les 30 écarts négatifs, 14 seulement dépassent les limites de l'écart probable, et l'écart maximum négatif — 4°,74 tombe sur la période du 7 au 11 mars. C'est cette même pentade du 7 au 11 mars qui donne le chiffre le plus bas pour la température de 5 jours consécutifs dans le courant de l'année, ce chiffre est de — 0,°84 ; l'époque la plus tardive à laquelle les plus grands froids avaient eu lieu dans le courant des 50 dernières années, avait été du 15 au 19 février, et cela pour une année seulement, tandis qu'en 1877 ils ont eu lieu 20 jours plus tard encore. L'on ne trouve que deux autres pentades avec un chiffre négatif pour la température moyenne, savoir celle du 16 au 20 janvier, avec — 0°,41, et celle du 22 au 26 décembre, avec — 0°,20. La période la plus chaude a été celle du 10-14 juin, avec une température de + 22°,54 ; l'on ne trouve, depuis 1826, que deux années dans lesquelles la période des plus grandes chaleurs ait été aussi hâtive qu'en 1877 ; cette année est ainsi exceptionnelle

par la circonstance que les plus grands froids ont eu lieu beaucoup plus tard et les plus grandes chaleurs beaucoup plus tôt que de coutume, les deux époques n'étant séparées que par un intervalle de 3 mois, pendant lequel la température s'est élevée de 23°,38. La température moyenne de l'année civile, soit la moyenne arithmétique des 73 pentades est de + 10°,08.

GENÈVE, 1877.

ÉPOQUE	NOMBRE DE JOURS								Jour le plus froid	Jour le plus chaud
	très froids	froids		tempérés		chauds		très chauds		
	-10° à -5°	-5° à 0°	0° à +5°	+5° à +10°	+10° à +15°	+15° à +20°	+20° à +25°	+25° à +30°		
Déc. 1876 .	—	3	14	10	4	—	—	—	− 0°,90 le 27	+11°,69 le 2
Janv. 1877.	—	4	17	8	2	—	—	—	− 2,67 le 18	+14,04 le 9
Février. . .	—	3	15	8	2	—	—	—	− 2,09 le 28	+10,88 le 13
Mars. . . .	—	6	11	11	3	—	—	—	− 4,22 le 11	+14,17 le 29
Avril. . . .	—	—	2	18	10	—	—	—	+ 3,20 le 17	+12,08 le 27
Mai	—	—	—	10	19	2	—	—	+ 6,32 le 2	+17,09 le 28
Juin	—	—	—	—	2	18	9	1	+12,81 le 2	+25,15 le 12
Juillet . . .	—	—	—	—	2	21	8	—	+14,67 le 25	+23,60 le 1
Août	—	—	—	—	—	17	14	—	+15,00 le 23	+24,73 le 19
Septembre.	—	—	—	8	9	13	—	—	+ 7,45 le 28	+19,63 le 8
Octobre . .	—	—	6	18	7	—	—	—	+ 2,64 le 19	+13,07 le 15
Novembre .	—	—	8	20	2	—	—	—	− 1,41 le 26	+10,68 le 10
Année . . .	—	16	73	111	62	71	31	1	− 4,22 le 11 Mars	+25,15 le 12 Juin.

GENÈVE, 1877. — TEMPÉRATURE.

ÉPOQUE	Écarts négatifs	Écarts positifs	Nombre de changements de signe	Écarts moyens	Écarts extrêmes		Écarts moy. entre 2 jours consécut.	Écarts extrêmes entre 2 jours consécutifs	
					négatifs	positifs		négatifs	positifs
Déc. . 1876	4	27	6	± 4°,22	− 0°,87 le 27	+ 9°,57 le 2	± 1°,80	− 4°,09 le 19	+ 7°,24 le 1
Janvier 1877	4	27	4	4,32	2,47 le 18	14,36 le 9	2,20	5,87 le 9	6,44 le 8
Février . . .	7	21	4	3,76	4,96 le 28	9,51 le 13	2,01	6,53 le 16	4,46 le 15
Mars	19	12	3	3,00	8,36 le 11	7,74 le 29	1,95	2,68 le 29	3,91 le 12
Avril	14	16	7	2,25	5,85 le 17	4,02 le 1 et 4	1,55	4,35 le 15	2,79 le 7
Mai	27	4	5	2,11	5,28 le 20	2,26 le 28	1,55	4,22 le 28	3,66 le 30
Juin	6	24	5	2,77	2,65 le 2	8,54 le 12	1,65	5,26 le 5	3,91 le 30
Juillet	16	15	8	2,13	4,22 le 25	5,38 le 1	1,93	8,32 le 24	3,03 le 4
Août	12	19	8	2,76	2,78 le 4	6,92 le 19	2,07	5,27 le 7	3,84 le 18
Septembre .	17	13	3	2,76	5,44 le 28	3,86 le 8	1,48	4,49 le 3	6,09 le 6
Octobre . . .	23	8	7	3,13	6,65 le 19	5,86 le 31	2,39	5,09 le 31	6,00 le 29
Novembre . .	7	23	8	2,35	1,73 le 2	6,45 le 28	1,85	5,66 le 24	4,63 le 27
Année . . .	156	209	68	± 2,96	− 8,36 le 11 mars.	+14,36 le 9 janvier.	± 1,87	− 8,32 le 24 juillet.	+ 7,24 le 1 décembre.

SAINT-BERNARD, 1877.

ÉPOQUE	Nombre de jours dont la température est comprise entre								Jour le plus froid	Jour le plus chaud
	− 20° et − 15	− 15° et − 10	− 10° et − 5	− 5° et 0	0° et + 5	+ 5° et + 10	+ 10° et + 15	+ 15° et + 20		
Décembre 1876.	—	5	11	11	4	—	—	—	−13°,35 le 25	+ 4°,90 le 31
Janvier 1877 . .	1	7	18	5	—	—	—	—	−15,22 le 31	− 0,97 le 10
Février	2	8	10	8	—	—	—	—	−19,37 le 28	− 2,29 le 13
Mars	3	8	9	10	1	—	—	—	−18,68 le 1	+ 0,15 le 30
Avril	—	—	6	23	1	—	—	—	− 8,15 le 24	+ 0,02 le 3
Mai	—	—	2	18	11	—	—	—	− 6,23 le 2	+ 3,14 le 31
Juin	—	—	—	—	5	22	3	—	+ 0,86 le 1	+11,13 le 30
Juillet	—	—	—	—	13	13	5	—	+ 0,94 le 18	+12,34 le 31
Août	—	—	—	—	1	17	12	1	+ 0,97 le 3	+15,74 le 19
Septembre . . .	—	—	—	9	13	8	—	—	− 4,19 le 23	+ 9,29 le 15
Octobre.	—	—	5	17	9	—	—	—	− 9,85 le 9	+ 4,02 le 13
Novembre . . .	—	2	5	17	6	—	—	—	−12,30 le 21	+ 3,11 le 16
Année	6	30	66	118	64	60	20	1	−19,37 le 28 février.	+15,74 le 19 août.

SAINT-BERNARD, 1877. — TEMPÉRATURE.

ÉPOQUE	Écarts négatifs	Écarts positifs	Nombre de changements de signe	Écarts moyens	Écarts extrêmes		Écarts moy. entre 2 jours consécut.	Écarts extrêmes entre 2 jours consécutifs	
					négatifs	positifs		négatifs	positifs
Déc. 1876 . .	8	23	4	±4,02	− 5,02 le 25	+13,47 le 31	±2,18	−11,16 le 31	+ 9,89 le 26
Janvier 1877.	10	21	11	2,91	6,15 le 31	7,90 le 10	2,70	8,75 le 30	7,16 le 27
Février . . .	11	17	7	4,06	11,08 le 28	6,59 le 13	2,77	8,65 le 26	8,88 le 24
Mars	18	13	5	3,84	10,45 le 1	5,87 le 30	2,45	5,03 le 5	7,54 le 2
Avril	16	14	7	2,00	5,72 le 24	5,26 le 3	1,86	4,63 le 23	5,39 le 21
Mai	23	8	7	2,17	5,48 le 20	1,72 le 17	1,49	3,54 le 17	5,30 le 2
Juin.	4	26	3	3,49	2,78 le 24	6,33 le 11	1,55	3,62 le 23	5,26 le 1
Juillet. . . .	14	17	8	2,93	5,29 le 25	5,93 le 31	2,38	7,75 le 7	5,79 le 29
Août	8	23	8	3,58	5,42 le 3	9,79 le 19	2,07	5,20 le 1	5,04 le 3
Septembre .	16	14	8	3,12	6,82 le 23	5,61 le 15	2,26	5,46 le 15	4,52 le 10
Octobre. . .	23	8	5	3,37	10,17 le 9	6,55 le 31	2,45	6,75 le 15	8,09 le 12
Novembre. .	7	23	9	3,54	6,59 le 21	8,29 le 16	3,03	7,88 le 24	10,73 le 21
Année . . .	158	207	82	±3,25	−11,08 le 28 février.	+13,47 le 31 décembre.	±2,27	−11,16 le 31 décembre.	+10,73 le 21 novembre.

1877. Température de 5 en 5 jours, à Genève.

Date	Température moy.	Différence avec la formule	Date	Température moy.	Différence avec la formule
	°	°		°	°
1– 5 Janvier	+ 7,87	(+8,13)	30– 4 Juillet	+18,81	+0,53
6–10 id.	+ 9,11	(+9,43)	5– 9 id.	+17,90	-0,64
11–15 id.	+ 3,73	(+4,03)	10–14 id.	+19,96	+1,23
16–20 id.	– 0,41	-0,21	15–19 id.	+15,94	(-2,91)
21–25 id.	+ 1,64	+1,67	20–24 id.	+21,27	(+2,37)
26–30 id.	+ 2,09	+1,88	25–29 id.	+17,38	-1,49
31– 4 Février	+ 2,66	+2,15	30– 3 Août	+19,74	+0,97
5– 9 id.	+ 4,21	(+3,34)	4– 8 id.	+18,47	-0,12
10–14 id.	+ 8,81	(+7,53)	9–13 id.	+17,84	-0,51
15–19 id.	+ 5,84	(+4,10)	14–18 id.	+20,55	(+2,52)
20–24 id.	+ 1,09	-1,14	19–23 id.	+20,97	(+3,32)
25– 1 Mars	+ 1,82	-0,94	24–28 id.	+19,51	(+2,30)
2– 6 Mars	+ 1,09	(-2,23)	29– 2 Septemb.	+19,88	(+3,18)
7–11 id.	– 0,84	(-4,74)	3– 7 id.	+14,66	-1,48
12–16 id.	+ 3,74	-0,76	8–12 id.	+17,48	(+1,96)
17–21 id.	+ 7,11	(+1,98)	13–17 id.	+16,12	+1,28
22–26 id.	+ 4,48	-1,29	18–22 id.	+11,50	(-2,63)
27–31 id.	+11,32	(+4,89)	23–27 id.	+ 9,08	(-4,29)
1– 5 Avril	+10,20	(+3,10)	28– 2 Octobre	+ 9,25	(-3,32)
6–10 id.	+ 9,81	(+2,02)	3– 7 id.	+ 8,64	(-3,10)
11–15 id.	+ 9,56	+1,07	8–12 id.	+ 6,20	(-4,68)
16–20 id.	+ 5,03	(-4,16)	13–17 id.	+ 9,63	-0,37
21–25 id.	+ 8,24	-1,67	18–22 id.	+ 4,68	(-4,43)
26–30 id.	+ 9,95	-0,68	23–27 id.	+ 8,91	+0,69
1– 5 Mai	+ 8,92	(-2,43)	28– 1 Novemb.	+ 8,25	+0,93
6–10 id.	+11,02	-1,05	2– 6 id.	+ 7,12	+0,68
11–15 id.	+ 9,86	(-2,92)	7–11 id.	+ 9,19	(+3,62)
16–20 id.	+11,49	(-2,00)	12–16 id.	+ 7,24	(+2,50)
21–25 id.	+11,57	(-2,60)	17–21 id.	+ 4,05	+0,10
26–30 id.	+13,82	-1,01	22–26 id.	+ 5,61	(+2,41)
31– 4 Juin	+15,73	+0,27	27– 1 Décemb.	+ 5,82	(+3,31)
5– 9 id.	+18,43	(+2,37)	2– 6 id.	+ 3,83	+1,95
10–14 id.	+22,54	(+5,93)	7–11 id.	+ 3,75	(+2,43)
15–19 id.	+19,64	(+2,53)	12–16 id.	+ 3,24	(+2,40)
20–24 id.	+19,60	(+2,03)	17–21 id.	+ 0,47	+0,03
25–29 id.	+18,11	+0,15	22–26 id.	– 0,20	-0,32
			27–31 id.	+ 3,86	(+3,97)

GENÈVE, 1877. — Indications des thermométrographes.

ÉPOQUE.	Minimum absolu.	Date.	Maximum absolu.	Date.	Nombre de jours: Minimum au-dessous de 0°.	Nombre de jours: Maximum au-dessous de 0°.
Décembre 1876	— 3°,6	le 27	+17°,0	le 2	11	0
Janvier 1877 ..	— 5,9	le 18	+16,0	le 1	14	0
Février.......	— 5,0	le 23	+14,8	le 16	12	0
Mars.........	— 5,7	le 11	+19,1	le 29	12	2
Avril.........	+ 0,4	le 17	+20,1	le 27	0	0
Mai	+ 1,2	le 3	+22,6	le 31	0	0
Juin	+ 5,9	le 2	+31,8	le 13	0	0
Juillet........	+ 8,4	le 9	+30,1	le 22	0	0
Août.........	+ 8,3	le 4	+33,0	le 19	0	0
Septembre....	+ 0,5	le 29	+26,8	le 8	0	0
Octobre	— 4,0	le 19	+21,0	le 14	6	0
Novembre	— 1,8	le 27	+18,1	le 6	2	0
Année........	— 5,9	le 18 janv.	+33,0	le 19 août.	57	2

SAINT-BERNARD, 1877.

Époque.	Minimum.	Date.	Maximum.	Date.
Déc. 1876	—15°,0	le 25 à 8 h. mat.	+ 6°,8	le 31 à midi.
Janv. 1877	—17,0	le 27 à 6 h. mat.	+ 2,0	le 10 à 6 h. mat.
Février. .	—20,8	le 28 à 8 h. soir.	+ 1,4	le 16 à 2 h. soir.
Mars . . .	—21,5	le 2 à 6 h. mat.	+ 4,9	le 30 à 10 h. mat.
Avril . . .	—10,4	le 21 à 6 h. mat.	+ 5,3	le 22 à midi.
Mai. . . .	—12,5	le 2 à 6 h. mat.	+10,3	le 17 à 2 h. soir.
Juin . . .	— 2,4	le 1 à 10 h. soir.	+16,6	le 33 à 2 h. soir.
Juillet . .	— 2,3	le 9 à 6 h. mat.	+16,4	le 31 à 2 h. soir.
Août . . .	— 1,7	le 3 à 6 h. mat.	+19,4	le 19 à 2 h. soir.
Septembre	— 5,4	le 25 à 6 h. mat.	+13,1	le 14 à 2 h. soir. le 15 à midi.
Octobre. .	—11,4	le 9 à 10 h. soir.	+ 6,0	le 13 à midi.
Novembre	—15,0	le 26 à 6 h. mat.	+ 5,5	le 16 à midi.
Année . .	—21,5	le 2 mars à 6 h. m.	+19,4	le 19 août à 2 h. s.

A Genève, le minimum absolu de l'année, enregistré au thermométrographe, est de — 5°,9 le 18 janvier; depuis 1826, on ne trouve pas une seule année où le degré le plus bas qu'ait atteint le thermomètre dans le courant de l'année soit aussi faible; en 1873, l'année qui s'en rapproche le plus, le minimum absolu avait été de — 6°,0. La valeur probable du minimum absolu, d'après les 50 dernières années, est de — 12°,8, c'est-à-dire de près de 7 degrés plus froide. Le maximum absolu + 33°,0 a eu lieu le 19 août, l'amplitude totale entre les extrêmes a été ainsi de 38°,9. L'époque à laquelle le minimum s'est abaissé pour la dernière fois au-dessous de 0, au printemps, est le 24 mars, — 0°,3; deux jours plus tard, le 26, le minimum est descendu à 0°, mais il y a eu postérieurement de la gelée blanche, cinq fois en avril, et la dernière le 3 mai. En automne, on a eu, à deux reprises, de la gelée blanche à la fin de septembre, le 24 et le 29, ce qui est un phénomène assez rare; mais c'est le 11 octobre que le minimum s'est abaissé pour la première fois au-dessous de 0.

Au St-Bernard, où, à défaut de thermométrographe, on peut seulement noter les températures extrêmes marquées par le thermomètre de 6 h. du matin à 10 h. du soir, on trouve dans tous les mois des températures négatives, et la plus basse est — 21°,5, le 2 mars, à 6 h. du matin.

On trouve également dans tous les mois des températures positives, et la plus élevée est + 19°,4, le 19 août, à 2 h. après midi, l'amplitude entre les extrêmes étant de 40°,9. La congélation du petit lac près de l'hospice a eu lieu dans la nuit du 18 au 19 octobre; à cette date, la surface entière du lac était recouverte, mais à la

suite d'un radoucissement de la température qui a eu lieu quelques jours plus tard, la glace a disparu sur une petite partie, pour se reformer au bout de peu de temps. La date à laquelle, en été, le lac a été entièrement débarrassé de la glace de l'hiver n'a pas été indiquée.

Température du Rhône en 1877.

ÉPOQUE.	Moyenne.	Excédant sur la moyenne 1853–1875	Minimum.	Maximum.	Différence entre la température de l'eau et celle de l'air.
	°	°	°	°	°
Décembre 1876 . .	+ 8,40	+1,79	+ 7,4 le 28 et 29	+ 9,6 le 5	+3,52
Janvier 1877 . . .	+ 6,90	+1,79	+ 5,9 le 22 et 23	+ 7,8 le 3	+2,99
Février	+ 6,64	+1,68	+ 6,1 le 1	+ 7,1 le 17 et 19	+2,25
Mars	+ 6,09	—0,03	+ 4,6 le 10	+ 7,1 le 30	+1,81
Avril	+ 8,75	—0,03	+ 7,6 le 2 et 6	+10,6 le 27	—0,05
Mai	+10,26	—1,46	+ 8,1 le 15	+13,6 le 28	—0,99
Juin	+17,23	+1,89	+ 9,2 le 1	+20,9 le 21	—1,92
Juillet	+16,43	—1,66	+ 8,0 le 19	+20,3 le 23	—2,22
Août	+19,45	+0,80	+15,9 le 10	+20,9 le 21	—0,16
Septembre.	+17,44	+0,37	+14,3 le 5	+20,6 le 3	+3,93
Octobre	+12,65	—1,33	+10,8 le 27 et 30	+15,5 le 1 et 2	+4,77
Novembre	+ 9 59	—0,04	+ 6,7 le 27	+11,1 le 1	+2,97
Année.	+11,64	+0,30	+ 4,6 le 10 mars.	+20,9 le 21 juin et le 21 août.	+1,37

Température du Rhône en 1877.

ÉPOQUE	Écarts moyens d'un jour	Écarts extrêmes		Écarts moy. entre 2 jours consécutifs	Écarts extrêmes entre 2 jours consécutifs	
		négatifs	positifs		négatifs	positifs
Décembre 1876	±1,78°	+ 1,4° le 1 et le 6	+2,2° le 16	±0,14°	—0,7° le 5	+0,3° le 1 et 4
Janvier 1877 .	1,87	+ 1,1 le 22 et 23	+2,4 le 3 et le 9	0,21	—0,5 le 20, 21, 26, 31	+0,6 le 23
Février	1,64	+ 1,0 le 28	+2,1 le 17	0,09	—0,4 le 19	+0,3 le 1
Mars.	0.40	— 1,2 le 10	+0,9 le 1	0,26	—0,8 le 9	+0,8 le 10
Avril	0,34	— 0,6 le 30	+0,9 le 27	0,35	—1,0 le 27	+0,8 le 12 et 26
Mai	1,60	— 4,7 le 30 et 31	+0,4 le 28	0,63	—3,8 le 28	+2,1 le 21
Juin	2,76	— 4,5 le 1	+5,3 le 15 et 16	1,59	—6,2 le 21	+5,8 le 22
Juillet.	3,15	—10,2 le 19	+2,6 le 2	2,50	—7,7 le 6	+8,0 le 21
Août.	1,25	— 2,9 le 10	+2,5 le 31	0,81	—2,6 le 8	+1,9 le 10 et 29
Septembre . .	1,08	— 3,7 le 5	+2,4 le 3	0,54	—5,4 le 3	+2,4 le 5
Octobre	1,11	— 2,1 le 10	—0,1 le 2 et 30	0,32	—0,8 le 9	+0,8 le 29
Novembre . . .	0,58	— 1,7 le 27	—0,7 le 23	0,27	—1,5 le 23	+0,5 le 3 et 10

Pendant tout le mois de décembre, l'écart a été positif.
» » » janvier » » »
» » » février » » »
» » » octobre » » négatif.

GENÈVE, 1877. — Pression atmosphérique.

ÉPOQUE	Hauteur moyenne	Midi	2 h.	4 h.	6 h.	8 h.	10 h.	(Minuit)	(14 h.)	(16 h.)	18 h.	20 h.	22 h.
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Décembre 1876	720,67	+0,03	-0,41	-0,23	+0,04	+0,34	+0,31	+0,05	-0,23	-0,35	-0,13	+0,07	+0,51
Janvier 1877 .	728,51	+0,28	-0,30	-0,19	-0,11	+0,03	+0,04	-0,07	-0,26	-0,38	-0,10	+0,37	+0,69
Février	728,28	+0,22	-0,29	-0,39	-0,19	+0,09	+0,18	+0,05	-0,16	-0,22	0,00	+0,31	+0,41
Mars	721,53	+0,10	-0,44	-0,55	-0,30	+0,22	+0,38	+0,22	-0,13	-0,20	+0,05	+0,26	+0,37
Avril	720,95	+0,01	-0,36	-0,64	-0,64	-0,15	+0,25	+0,21	+0,06	+0,13	+0,35	+0,40	+0,38
Mai	724,00	+0,12	-0,30	-0,60	-0,49	-0,09	+0,18	+0,11	-0,05	+0,01	+0,27	+0,48	+0,38
Juin	728,50	-0,03	-0,42	-0,69	-0,63	-0,31	+0,15	+0,21	+0,09	+0,15	+0,49	+0,60	+0,38
Juillet	728,27	+0,06	-0,23	-0,51	-0,64	-0,36	+0,18	+0,29	+0,15	+0,10	+0,27	+0,40	+0,27
Août	727,41	+0,07	-0,25	-0,51	-0,57	-0,09	+0,22	+0,23	0,00	+0,01	+0,21	+0,34	+0,35
Septembre . .	727,42	+0,14	-0,40	-0,65	-0,56	+0,02	+0,20	+0,08	-0,10	0,00	+0,27	+0,46	+0,53
Octobre	729,32	+0,08	-0,41	-0,40	-0,11	+0,26	+0,38	+0,18	-0,23	-0,40	-0,14	+0,37	+0,42
Novembre . . .	725,59	+0,09	-0,40	-0,35	-0,13	+0,05	+0,08	-0,04	-0,20	-0,25	+0,09	+0,46	+0,60
Hiver	725,74	+0,17	-0,34	-0,27	-0,09	+0,15	+0,17	+0,01	-0,22	-0,32	-0,08	+0,24	+0,54
Printemps. . .	722,17	+0,08	-0,36	-0,59	-0,47	0,00	+0,27	+0,19	-0,04	-0,02	+0,22	+0,38	+0,37
Été	728,06	+0,03	-0,30	-0,57	-0,62	-0,25	+0,18	+0,24	+0,08	+0,08	+0,32	+0,44	+0,33
Automne . . .	727,46	+0,11	-0,40	-0,47	-0,26	+0,11	+0,22	+0,07	-0,18	-0,22	+0,07	+0,42	+0,52
Année	725,85	+0,10	-0,35	-0,47	-0,36	0,00	+0,21	+0,13	-0,09	-0,12	+0,14	+0,37	+0,44

SAINT-BERNARD, 1877. — Pression atmosphérique.

ÉPOQUE	Hauteur moyenne	Midi	2 h.	4 h.	6 h.	8 h.	10 h.	(Minuit)	(14 h.)	(16 h.)	18 h.	20 h.	22 h.
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Décembre 1876.	558,30	-0,08	-0,19	-0,11	+0,05	+0,19	+0,33	+0,20	-0,11	-0,27	-0,13	-0,02	+0,14
Janvier 1877 . .	563,10	-0,10	-0,12	+0,03	+0,17	+0,26	+0,33	+0,16	-0,23	-0,44	-0,21	0,00	+0,14
Février	561,38	+0,02	-0,09	-0,02	+0,16	+0,25	+0,25	+0,05	-0,19	-0,27	-0,12	-0,10	+0,05
Mars	556,36	-0,01	-0,09	-0,10	+0,06	+0,25	+0,39	+0,21	-0,19	-0,29	-0,17	-0,08	+0,01
Avril	558,90	+0,03	+0,05	0,00	+0,07	+0,27	+0,37	+0,26	-0,16	-0,40	-0,29	-0,19	-0,02
Mai	562,00	+0,08	+0,12	+0,17	+0,16	+0,33	+0,36	+0,21	-0,20	-0,48	-0,42	-0,29	-0,04
Juin	570,18	+0,06	+0,03	+0,02	+0,06	+0,16	+0,27	+0,11	-0,19	-0,29	-0,19	-0,08	+0,04
Juillet	569,07	+0,01	+0,03	+0,07	+0,12	+0,21	+0,30	+0,12	-0,18	-0,32	-0,19	-0,11	-0,06
Août	569,73	+0,04	+0,02	0,00	+0,03	+0,12	+0,18	+0,12	-0,08	-0,21	-0,12	-0,11	0,00
Septembre . . .	566,40	+0,08	+0,03	+0,03	+0,07	+0,14	+0,22	+0,14	-0,14	-0,29	-0,19	-0,14	+0,05
Octobre.	565,33	+0,05	+0,01	-0,02	+0,10	+0,29	+0,33	+0,15	-0,22	-0,42	-0,30	-0,09	+0,10
Novembre . . .	562,37	+0,07	-0,06	-0,07	+0,03	+0,12	+0,09	-0,05	-0,18	-0,19	0,00	+0,06	+0,17
Hiver	560,91	-0,06	-0,13	-0,04	+0,12	+0,23	+0,31	+0,14	-0,18	-0,33	-0,15	-0,04	+0,11
Printemps . . .	559,09	+0,04	+0,03	+0,02	+0,10	+0,28	+0,37	+0,23	-0,18	-0,39	-0,29	-0,19	-0,02
Été	569,65	+0,04	+0,03	+0,03	+0,07	+0,17	+0,25	+0,12	-0,15	-0,27	-0,17	-0,10	-0,01
Automne	564,71	+0,06	-0,01	-0,02	+0,07	+0,18	+0,22	+0,08	-0,18	-0,30	-0,16	-0,06	+0,10
Année	563,60	+0,02	-0,02	0,00	+0,09	+0,22	+0,29	+0,14	-0,18	-0,32	-0,19	-0,10	+0,05

Si l'on prend la différence entre la pression atmosphérique observée à Genève et au Saint-Bernard, on trouve pour le poids de la couche d'air comprise entre les deux stations :

ÉPOQUE	Hauteur moyenne	Midi	2 h.	4 h.	6 h.	8 h.	10 h.	(Minuit)	(14 h.)	(16 h.)	18 h.	20 h.	22 h.
Hiver	164,83	+0,23	-0,21	-0,23	-0,21	-0,08	-0,14	-0,13	-0,04	+0,01	+0,07	+0,28	+0,43
Printemps . . .	163,08	+0,04	-0,39	-0,61	-0,57	-0,28	-0,10	-0,04	+0,14	+0,37	+0,51	+0,58	+0,39
Été	158,41	-0,01	-0,33	-0,60	-0,69	-0,42	-0,07	+0,12	+0,23	+0,38	+0,49	+0,54	+0,34
Automne	162,75	+0,05	-0,39	-0,45	-0,33	-0,07	0,00	-0,01	0,00	+0,08	+0,23	+0,48	+0,42
Année	162,25	+0,08	-0,33	-0,47	-0,45	-0,21	-0,08	-0,01	+0,09	+0,20	+0,33	+0,47	+0,39

Formules de la variation diurne du baromètre à Genève, pendant l'année 1877

	mm	mm °	mm °	mm °
Décembre 1876.	b = 720,67	+0,05 sin (μ +343,9)	+0,36 sin (2 μ +170,8)	+0,09 sin (3 μ +168,0)
Janvier 1877 . .	b = 728,51	+0,21 sin (μ +113,3)	+0,34 sin (2 μ +164,2)	+0,11 sin (3 μ +193,4)
Février	b = 728,28	+0,13 sin (μ +157,9)	+0,32 sin (2 μ +160,2)	+0,03 sin (3 μ +147,8)
Mars.	b = 721,53	+0,16 sin (μ +212,1)	+0,39 sin (2 μ +160,8)	+0,03 sin (3 μ + 69,4)
Avril	b = 720,95	+0,40 sin (μ +193,2)	+0,28 sin (2 μ +151,8)	+0,08 sin (3 μ + 6,1)
Mai.	b = 724,00	+0,33 sin (μ +182,1)	+0,29 sin (2 μ +156,8)	+0,05 sin (3 μ + 10,7)
Juin	b = 728,50	+0,51 sin (μ +188,5)	+0,26 sin (2 μ +159,3)	+0,08 sin (3 μ +321,6)
Juillet	b = 728,27	+0,39 sin (μ +189,9)	+0,23 sin (2 μ +128,0)	+0,10 sin (3 μ +320,4)
Août	b = 727,41	+0,30 sin (μ +190,1)	+0,28 sin (2 μ +145,2)	+0,07 sin (3 μ +349,5)
Septembre. . .	b = 727,42	+0,35 sin (μ +180,5)	+0,36 sin (2 μ +161,3)	+0,06 sin (3 μ + 51,6)
Octobre.	b = 729,32	+0,04 sin (μ +220,0)	+0,43 sin (2 μ +165,4)	+0,05 sin (3 μ +219,0)
Novembre . . .	b = 725,59	+0,20 sin (μ +150,9)	+0,35 sin (2 μ +175,1)	+0,08 sin (3 μ +198,7)

Formules de la variation diurne du baromètre au Saint-Bernard, pendant l'année 1877

Décembre 1876 .	b = 558,30	+0,13 sin (μ +316,0)	+0,20 sin (2 μ +162,3)	+0,04 sin (3 μ +257,1)
Janvier 1877 . .	b = 563,10	+0,20 sin (μ +348,7)	+0,22 sin (2 μ +169,0)	+0,08 sin (3 μ +268,5)
Février	b = 561,38	+0,17 sin (μ +350,0)	+0,16 sin (2 μ +171,6)	+0,01 sin (3 μ + 16,7)
Mars	b = 556,36	+0,17 sin (μ +330,6)	+0,22 sin (2 μ +159,7)	+0,05 sin (3 μ +351,5)
Avril	b = 558,90	+0,25 sin (μ +343,2)	+0,21 sin (2 μ +133,2)	+0,06 sin (3 μ +323,9)
Mai.	b = 562,00	+0,34 sin (μ +354,7)	+0,18 sin (2 μ +128,6)	+0,04 sin (3 μ +304,9)
Juin	b = 570,18	+0,16 sin (μ +359,3)	+0,14 sin (2 μ +148,0)	+0,04 sin (3 μ +337,0)
Juillet	b = 569,07	+0,20 sin (μ +350,4)	+0,12 sin (2 μ +153,0)	+0,05 sin (3 μ +324,6)
Août	b = 569,73	+0,12 sin (μ +345,4)	+0,10 sin (2 μ +133,4)	+0,03 sin (3 μ +323,5)
Septembre . . .	b = 566,40	+0,16 sin (μ +357,2)	+0,14 sin (2 μ +136,1)	+0,03 sin (3 μ +310,4)
Octobre	b = 565,33	+0,22 sin (μ +355,6)	+0,22 sin (2 μ +150,5)	+0,03 sin (3 μ +295,6)
Novembre . . .	b = 562,37	+0,06 sin (μ + 54,8)	+0,14 sin (2 μ +175,9)	+0,01 sin (3 μ + 66,8)

Si l'on compare la hauteur moyenne du baromètre pour chaque mois avec les valeurs moyennes déduites, pour Genève, des 40 années 1836-75, et pour le St-Bernard des 27 années 1841-67, on trouve les écarts suivants :

Époque.	ÉCARTS Genève.	Saint-Bernard.	Genève-St-Bernard.
	mm	mm	mm
Décembre 1876	—7,29	—4,02	—3,27
Janvier 1877. .	+1,14	+2,61	—1,47
Février.	+1,44	+1,14	+0,30
Mars.	—3,50	—3,35	—0,15
Avril.	—3,82	—2,73	—1,09
Mai	—1,24	—1,84	+0,60
Juin	+1,31	+3,07	—1,76
Juillet	+0,62	+0,59	+0,03
Août.	—0,25	+1,33	—1,58
Septembre . . .	—0,21	—1,05	+0,84
Octobre	+2,81	+0,73	+2,08
Novembre . . .	—0,25	+0,34	—0,59
Année 1877 . .	—0,79	—0,28	—0,51

Dans les deux stations, le baromètre a été, en moyenne dans l'année, plus bas que de coutume, surtout à Genève, où l'on ne trouve, depuis 1836, que 6 années avec une pression inférieure à celle de l'année 1877. Les écarts négatifs des mois de décembre, mars et avril dépassent considérablement les limites de l'écart probable, et même de l'écart moyen ; l'écart positif du mois d'octobre dépasse seul ces limites.

Pour l'année entière, l'écart moyen étant ± $0^{mm},63$ et l'écart probable de ± $0^{mm},53$, l'on voit que l'écart négatif de l'année 1877 dépasse ces limites. L'on trouve pour plusieurs mois des différences assez notables entre les écarts observés à Genève et au St-Bernard, et s'éle-

vant en maximum à — 3^{mm},27, quantité dont le baromètre était, au mois de décembre, relativement plus élevé au St-Bernard qu'à Genève, et à + 2^{mm},08. dont il était au contraire relativement plus bas au mois d'octobre. En moyenne, dans l'année, le baromètre a été relativement plus élevé d'un demi millimètre au St-Bernard qu'à Genève, ce qui est une conséquence du fait que, dans les deux stations, et par conséquent dans la couche d'air intermédiaire, la température a été, en moyenne, sensiblement plus élevée que de coutume.

Avec les données suivantes pour l'année 1877 : 725^{mm},85 et 563^{mm},60 pour la hauteur moyenne du baromètre dans les deux stations ; + 10°,27 et — 1°,12 pour la température moyenne ; 0,76 et 0,79 pour la fraction moyenne de saturation, je trouve, d'après mes tables hypsométriques 2068^{mm},3 pour la différence d'altitude entre les deux stations, le chiffre obtenu par le nivellement direct étant 2070^{mm},3.

Les tableaux suivants renferment les données qui permettent d'apprécier les variations accidentelles du baromètre dans chaque station, soit que l'on considère l'écart entre la hauteur moyenne du baromètre pour un jour et la valeur normale, ou la variation entre deux jours consécutifs, soit que l'on considère les minimas et les maximas absolus observés dans chaque mois.

GENÈVE, 1877. — PRESSION ATMOSPHÉRIQUE.

ÉPOQUE	Écarts négatifs	Écarts positifs	Nombre de changements de signe	Écarts moyens	Écarts extrêmes		Écarts moy. entre 2 jours consécutifs	Écarts extrêmes entre 2 jours consécutifs	
					négatifs	positifs		négatifs	positifs
				mm	mm	mm	mm	mm	mm
Déc. 1876 .	25	6	4	±7,53	-22,17 le 21	+ 4,93 le 27	±3,31	- 6,20 le 3	+ 8,55 le 25
Janv. 1877.	12	19	5	4,83	-12,41 le 4	+ 9,18 le 21	2,78	- 8,59 le 3	+ 6,73 le 1
Février. . .	9	19	4	5,06	-11,48 le 21	+10,53 le 6	2,72	-10,30 le 19	+ 6,34 le 26
Mars	20	11	6	6,67	-18,04 le 20	+ 9,74 le 2	3,91	- 9,27 le 24	+ 8,06 le 27
Avril . . .	24	6	5	4,56	-15,40 le 17	+ 3,91 le 21	3,55	- 9,66 le 15	+ 9,23 le 19
Mai	19	12	7	3,52	-10,46 le 6	+ 6,02 le 16	2,38	- 5,03 le 19	+ 4,88 le 14
Juin	9	21	6	2,31	- 2,91 le 22	+ 5,93 le 7	1,51	- 3,88 le 2	+ 3,42 le 1
Juillet . . .	11	20	10	2,98	- 8,71 le 15	+ 7,23 le 9	2,50	- 4,33 le 31	+ 7,25 le 24
Août	19	12	10	1,39	- 4,06 le 8	+ 3,81 le 27	1,49	- 3,63 le 6	+ 3,04 le 14
Septembre.	15	15	6	3,06	- 8,22 le 21	+ 5,01 le 27	2,05	- 4,42 le 6	+ 5,65 le 3
Octobre . .	8	23	6	4,55	- 6,21 le 25	+ 9,20 le 16	2,38	- 5,97 le 7	+ 5,51 le 26
Novembre .	13	17	7	5,68	-13,96 le 29	+10,67 le 15	4,05	- 9,37 le 11	+12,82 le 25
Année . . .	184	181	76	±4,34	-22,17 le 21 décembre	+10,67 le 15 novembre	±2,71	-10,30 le 19 février	+12,82 le 25 novembre

SAINT-BERNARD, 1877. — PRESSION ATMOSPHÉRIQUE.

ÉPOQUE	Écarts négatifs	Écarts positifs	Nombre de changements de signe	Écarts moyens	Écarts extrêmes		Écarts moy. entre 2 jours consécutifs	Écarts extrêmes entre 2 jours consécutifs	
					négatifs	positifs		négatifs	positifs
				mm	mm	mm	mm	mm	mm
Déc. 1876 .	21	10	6	±5,22	−17,26 le 21	+ 7,80 le 28	±2,34	− 5,18 le 3	+ 5,92 le 26
Janv. 1877.	7	24	7	3,48	− 5,01 le 5	+ 8,95 le 20	2,85	− 5,73 le 25	+ 6,49 le 26
Février . .	10	18	3	5,36	−11,22 le 21	+ 9,04 le 7	2,16	− 9,65 le 19	+ 3,63 le 21
Mars. . . .	22	9	5	5,74	−12,55 le 8	+ 7,22 le 29	2,77	− 6,73 le 4	+ 8,25 le 27
Avril. . . .	20	10	7	3,58	−13,43 le 17	+ 4,38 le 1	2,52	− 8,47 le 15	+ 5,88 le 19
Mai	25	6	5	2,77	− 7,83 le 6	+ 3,04 le 16	1,52	− 4,25 le 19	+ 3,20 le 15
Juin	4	26	2	3,51	− 0,94 le 23	+ 7,21 le 10	0,95	− 2,31 le 20	+ 2,70 le 1
Juillet . . .	10	21	8	2,32	− 7,09 le 15	+ 5,51 le 30	1,68	− 4,81 le 14	+ 3,93 le 8
Août. . . .	10	21	4	2,18	− 2,95 le 2	+ 5,75 le 19	1.20	− 4,46 le 1	+ 2,24 le 18
Septembre.	17	13	6	2,83	− 8,45 le 22	+ 5,89 le 14	1,51	− 3,81 le 15	+ 2,57 le 10
Octobre . .	11	20	6	3,52	− 6,85 le 9	+ 7,35 le 14	2,19	− 6,42 le 23	+ 4,86 le 12
Novembre .	15	15	3	5,01	−10,87 le 30	+ 9,90 le 15	2,92	− 7,89 le 19	+ 9,77 le 25
Année . . .	172	193	62	±3,78	−17,26 le 21 décembre	+ 9,90 le 15 novembre	±2,05	− 9,65 le 19 février	+ 9,77 le 25 novembre

GENÈVE, 1877.

Époque.	Minimum absolu.	Date.	Maximum absolu.	Date.	Amplitude.
	mm		mm		mm
Déc. 1876.	703,86	le 21	733,29	le 27	29,43
Janv. 1877.	712,31	le 4	737,43	le 21	25,12
Février . .	712,70	le 21	738,32	le 6	25,62
Mars . . .	706,20	le 20	736,12	le 2	29,92
Avril . . .	708,74	le 18	729,73	le 1	20,99
Mai	714,13	le 6	732,28	le 16	18,15
Juin. . . .	723,11	le 22	733,37	le 30	10,26
Juillet. . .	718,26	le 15	735,55	le 9	17,29
Août . . .	722,70	le 8	732,47	le 27	9,77
Septembre.	717,79	le 21	733,17	le 14	15,38
Octobre. .	718,01	le 25	736,61	le 16	18,60
Novembre.	710,07	le 25	737,44	le 15	27,37
Année . . .	703,86	le 21 décembre	738,32	le 6 février	34,46

SAINT-BERNARD, 1877.

Époque.	Minimum absolu.	Date.	Maximum absolu.	Date.	Amplitude.
	mm		mm		mm
Déc. 1876.	543,18	le 21	569,64	le 28	26,46
Janv. 1877.	553,61	le 31	570,62	le 9	17,01
Février . .	547,29	le 21	570,00	le 7	22,71
Mars . . .	545,49	le 8	567,96	le 28	22,47
Avril . . .	547,40	le 17	565,35	le 1	17,95
Mai. . . .	554,36	le 6	569,19	le 31	14,83
Juin. . . .	566,06	le 24	574,37	le 30	8,31
Juillet. . .	560,65	le 15	574,60	le 30	13,95
Août . . .	565,11	le 2	575,02	le 19	9,91
Septembre.	557,62	le 22	573,67	le 14	16,05
Octobre. .	556,31	le 9	573,52	le 14	17,21
Novembre.	547,68	le 25	572,89	le 15	25,21
Année. . .	543,18	le 21 déc.	575,02	le 19 août	31,84

GENÈVE, 1877. — Tension de la vapeur.

ÉPOQUE	Midi	2 h.	4 h.	6 h.	8 h.	10 h.	18 h.	20 h.	22 h.	TENSION moyenne des 24 h.	TENSION Minimum absolu	TENSION Maximum absolu
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Décembre 1876.	5,36	5,47	5,57	5,53	5,43	5,33	5,13	5,11	5,28	5,33	3,36	8,35
Janvier 1877 . .	4,69	4,78	4,71	4,81	4,82	4,66	4,53	4,53	4,66	4,66	2,80	7,81
Février	4,93	4,85	4,83	5,00	5,05	5,06	4,88	4,82	5,10	4,92	2,35	8,41
Mars	4,74	4,78	4,83	4,90	4,98	4,92	4,66	4,77	4,68	4,77	2,25	8,69
Avril	6,17	6,13	6,22	6,16	6,26	6,34	5,97	6,35	6,27	6,16	3,81	9,07
Mai.	7,20	7,24	7,32	7,49	7,55	7,64	7,48	7,51	7,27	7,38	3,79	11,25
Juin	11,32	11,34	11,08	11,67	12,14	12,10	11,34	11,59	11,23	11,49	6,91	17,15
Juillet	11,12	11,10	11,05	11,54	11,76	11,97	11,21	11,70	11,31	11,37	5,63	16,74
Août	12,18	12,20	12,40	12,92	12,84	12,69	11,58	12,60	12,08	12,28	6,66	17,16
Septembre . . .	8,35	8,23	8,13	8,56	8,75	8,64	8,07	8,60	8.69	8,25	4,42	13,82
Octobre.	6,16	5,89	6,09	6,36	6,28	6,10	5,62	5,90	6,34	5,95	2,64	10,02
Novembre . . .	6,10	6,05	6,23	6,27	6,29	6,05	5,78	5,79	6,04	6,03	3,21	9,54
Hiver.	5,00	5,04	5,04	5,12	5,10	5,01	4,84	4,82	5,01	4,97	2,35	8,41
Printemps . . .	6,04	6,05	6,12	6,19	6,26	6,30	6,04	6,21	6,07	6,10	2,25	11,25
Été	11,54	11,55	11,51	12,05	12,25	12,26	11,38	11,97	11,54	11,72	5,63	17,16
Automne	6,86	6,72	6,81	7,06	7,10	6,92	6,48	6,75	7,01	6,74	2,64	13,82
Année	7,38	7,35	7,38	7,62	7,69	7,64	7,20	7,45	7,42	7,40	2,25	17,16

GENÈVE, 1877. — Fraction de saturation en millièmes.

ÉPOQUE	Midi	2 h.	4 h.	6 h.	8 h.	10 h.	(Minuit)	(14h.)	(16h.)	18 h.	20 h.	22 h.	Fraction moyenne	Minimum absolu	Maximum absolu
Déc. 1876 .	737	738	781	815	829	824	837	857	866	865	858	809	818	410	1000, 21 fois
Janvier 1877	661	674	680	753	791	793	800	808	818	828	843	755	767	330	1000, 12 »
Février. . .	675	631	637	706	767	805	840	879	896	882	849	781	779	390	1000, 3 »
Mars	665	637	662	732	775	787	807	844	868	842	800	701	760	360	1000, 13 »
Avril	631	599	608	623	680	766	834	882	911	886	790	670	740	330	1000, 6 »
Mai	630	592	611	675	747	807	854	903	927	883	768	675	756	370	1000, 11 »
Juin	564	534	530	599	699	785	821	861	876	827	703	613	701	280	960, »
Juillet . . .	577	569	560	617	715	813	868	888	884	833	730	634	724	330	980, »
Août	593	578	571	645	727	796	842	875	889	840	748	632	728	300	1000, 3 »
Septembre .	562	527	531	623	734	786	830	890	928	874	757	634	723	350	990, »
Octobre . .	611	552	590	703	771	810	852	895	907	872	825	696	757	290	1000, 6 »
Novembre .	727	707	758	807	841	841	853	876	890	879	858	779	818	470	1000, 5 »
Hiver. . . .	691	682	701	760	797	807	825	847	859	857	850	782	788	330	1000, 36 fois
Printemps .	642	609	627	677	734	787	832	876	902	870	786	682	752	330	1000, 30 »
Été	578	561	554	621	714	798	844	875	883	834	727	626	718	280	1000, 3 »
Automne . .	633	595	626	711	782	812	845	887	908	875	813	703	766	290	1000, 11 »
Année . . .	636	611	627	692	757	801	836	871	888	859	794	698	756	280	1000, 80 fois

Formules de la variation diurne de la fraction de saturation. — GENÈVE, 1877.

Décembre 1876	$H = 818 + 53 \sin(\mu + 229{,}8^\circ) + 29 \sin(2\mu + 248{,}7^\circ) + 11 \sin(3\mu + 213{,}7^\circ)$
Janvier 1877 .	$H = 767 + 73 \sin(\mu + 229{,}0) + 41 \sin(2\mu + 224{,}4) + 9 \sin(3\mu + 248{,}3)$
Février	$H = 779 + 128 \sin(\mu + 219{,}5) + 28 \sin(2\mu + 217{,}4) + 9 \sin(3\mu + 161{,}1)$
Mars	$H = 760 + 102 \sin(\mu + 232{,}7) + 29 \sin(2\mu + 255{,}1) + 7 \sin(3\mu + 107{,}6)$
Avril	$H = 740 + 153 \sin(\mu + 223{,}2) + 18 \sin(2\mu + 315{,}4) + 13 \sin(3\mu + 350{,}1)$
Mai	$H = 756 + 160 \sin(\mu + 231{,}9) + 18 \sin(2\mu + 283{,}7) + 12 \sin(3\mu + 62{,}8)$
Juin	$H = 701 + 176 \sin(\mu + 234{,}8) + 8 \sin(2\mu + 272{,}2) + 18 \sin(3\mu + 50{,}2)$
Juillet	$H = 724 + 176 \sin(\mu + 236{,}6) + 1 \sin(2\mu + 35{,}0) + 13 \sin(3\mu + 11{,}1)$
Août	$H = 728 + 162 \sin(\mu + 235{,}3) + 12 \sin(2\mu + 274{,}7) + 12 \sin(3\mu + 34{,}2)$
Septembre . .	$H = 723 + 192 \sin(\mu + 231{,}5) + 27 \sin(2\mu + 259{,}1) + 18 \sin(3\mu + 71{,}0)$
Octobre . . .	$H = 757 + 163 \sin(\mu + 231{,}8) + 38 \sin(2\mu + 233{,}1) + 11 \sin(3\mu + 162{,}0)$
Novembre . .	$H = 818 + 77 \sin(\mu + 236{,}2) + 32 \sin(2\mu + 247{,}6) + 6 \sin(3\mu + 191{,}7)$

Si l'on compare l'année 1877, au point de vue de l'état hygrométrique de l'air, à Genève, avec la moyenne des 27 années 1849-75, on trouve les écarts suivants pour la tension de la vapeur, pour la fraction de satura-

tion exprimée en millièmes, et pour le nombre de cas de saturation.

ÉCARTS.

	Tension de la vapeur.	Fraction de saturation.	Cas de saturation.
	mm		
Décembre 1876 .	+1,13	— 47	—16
Janvier 1877 . .	+0,51	— 90	—24
Février	+0,61	— 40	—17
Mars	+0,07	+ 6	+ 4
Avril	+0,20	+ 43	+ 3
Mai	—0,48	+ 52	+ 7
Juin	+1,73	+ 3	— 2
Juillet	+0,51	+ 45	— 1
Août	+1,62	+ 18	+ 1
Septembre. . . .	—1,36	— 47	— 5
Octobre	—1,71	— 74	—12
Novembre. . . .	+0,69	— 15	—11
Année 1877. . .	+0,30	— 12	—73

L'année 1877 a été humide, si l'on a égard à l'un des éléments qui caractérisent l'état hygrométrique de l'air, la quantité absolue de vapeur d'eau renfermée dans l'atmosphère, qui a été sensiblement plus forte que de coutume, surtout dans les mois de décembre, juin et août; mais elle a été sèche, au point de vue de l'humidité relative, ou de la fraction de saturation, qui a été plus faible que de coutume, et de même le nombre des cas de saturation est resté fort au-dessous de la moyenne. Cette contradiction apparente est due à l'élévation exceptionnelle de la température dans l'année, et surtout en hiver ; dans cette saison, malgré la plus grande abondance de vapeur d'eau, $+ 0^{mm},74$, due à la prédominance marquée des vents du sud-ouest, la fraction de saturation est restée de — 60 millièmes au-dessous de la moyenne, par suite de l'excédant de température, et les cas de saturation ont été beaucoup moins fréquents. L'été a été, il est vrai, un

peu plus chaud que de coutume, mais comme l'excédant dans la quantité de vapeur d'eau a été très considérable dans cette saison, près de $1^{mm},4$, la fraction de saturation a été élevée. Le printemps et l'automne ont été froids, et dans la première de ces saisons, la tension de la vapeur ayant été à très peu de chose égale à la moyenne, il en résulte une augmentation dans la fraction de saturation ; en automne, au contraire, le déficit considérable dans la quantité absolue de vapeur d'eau a amené une diminution de la fraction de saturation, malgré l'abaissement de la température. Si l'on a égard à la concordance des signes des écarts pour les deux éléments qui caractérisent l'état hygrométrique, on peut regarder comme humides les mois de mars, avril, juin, juillet et août, pour lesquels ces écarts sont positifs, et comme secs les mois de septembre et octobre, pour lesquels ils sont négatifs.

Vents observés à Genève, dans l'année 1877.

	Décemb. 1876.	Janvier 1877.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Septembre.	Octobre.	Novembre.	Année.
Calme	7	2	4	1	5	3	5	4	1	2	5	1	40
N. . .	26	29	23	32	68	66	74	51	60	75	54	29	587
NNE .	21	39	21	46	32	35	45	33	16	36	61	20	405
NE. .	27	43	17	79	37	28	23	12	20	61	48	31	426
ENE .	3	6	2	6	2	0	1	4	4	6	2	0	36
E. . .	15	8	6	9	6	5	5	9	5	10	4	13	95
ESE .	2	4	4	3	4	2	0	2	0	0	1	7	29
SE. .	18	21	14	15	12	15	6	4	15	6	7	8	141
SSE. .	9	13	8	1	3	2	5	8	9	6	8	4	76
S. . .	65	33	51	29	37	31	21	38	33	29	30	25	422
SSO. .	64	65	86	94	30	62	32	90	68	48	51	71	761
SO. .	37	53	45	61	33	35	53	37	32	31	49	45	511
OSO. .	8	9	22	6	21	24	12	10	23	9	8	15	167
O . .	8	11	8	6	4	14	16	21	13	11	14	16	142
ONO .	3	7	2	1	3	2	2	4	2	2	3	4	35
NO. .	19	13	5	7	10	11	3	5	10	4	9	15	111
NNO .	6	12	13	4	7	10	10	10	8	8	4	7	99

	RAPPORT.	RÉSULTANTE.		
	Vents NE. à SO.	Direction.	Intensité sur 100.	Calme sur 100.
Décembre 1876.	0,51	S 13°,6 O	33,0	2,5
Janvier 1877. . .	0,73	S 25,6 O	16,5	0,7
Février	0,33	S 26,5 O	52,3	1,6
Mars	0,88	S 6,5 E	11,6	0,4
Avril	1,16	N 20,2 O	12,0	1,9
Mai	0,81	N 89,3 O	16,7	1,1
Juin.	1,10	N 42,3 O	21,5	1,9
Juillet.	0,56	S 47,0 O	29,6	1,4
Août	0,62	S 50,9 O	32,8	0,4
Septembre . . .	1,59	N 11,7 E	21,2	0,7
Octobre	1,25	N 26,2 O	11,5	1,8
Novembre. . . .	0,57	S 43,5 O	26,7	0,4
Année	0,84	S 52,8 O	13,7	1,2

Les chiffres du tableau précédent se rapportent à 9 observations par jour, soit à 3285 pour l'année entière, et ils expriment l'intensité relative de chaque vent, pour chaque mois, en tenant compte dans chaque observation de la force du vent estimée par des chiffres ou facteurs 0 à 3, dans quelques cas exceptionnels d'un vent très violent, le facteur 4 a été appliqué. Si pour l'année entière, on réduit les chiffres se rapportant à 3285 observations au chiffre proportionnel pour 1000 observations, et si on les compare à ceux obtenus de la même manière pour la moyenne des 29 années 1847-75, on trouve les différences suivantes :

Intensité relative des différents vents sur 1000 observations.

	Année 1877	Moyenne des 29 années antér.	Différence	
Calme	12	57	—	45
Nord.	179	265	—	86
Nord-Nord-Est. .	123	200	—	77
Nord-Est.	130	48	+	82
Est-Nord-Est . .	11	7	+	4
Est	29	22	+	7
Est-Sud-Est. . .	9	7	+	2
Sud-Est.	43	20	+	23
Sud-Sud-Est. . .	23	23		0
Sud	128	110	+	18
Sud-Sud-Ouest. .	232	196	+	36
Sud-Ouest. . . .	155	125	+	30
Ouest-Sud-Ouest .	51	27	+	24
Ouest	43	32	+	11
Ouest-Nord-Ouest.	11	5	+	6
Nord-Ouest. . . .	34	17	+	17
Nord-Nord-Ouest.	30	33	—	3

Ces chiffres mettent en évidence une prédominance très marquée en 1877 du courant équatorial sur le courant polaire, comparativement à ce qui a lieu ordinairement. En ayant égard à la configuration et à l'orientation de la vallée, le courant polaire est représenté essentiellement à Genève par les vents du nord, du nord-nord-est et du nord-est, et la somme de l'intensité relative pour ces trois directions est en moyenne 513; en 1877, elle a été seulement de 432, donc une diminution de 81 sur le courant polaire. Le courant équatorial est représenté par les vents du sud, du sud-sud-ouest et du sud-ouest, et la somme de l'intensité relative pour ces trois direc-

tions est en moyenne de 431, tandis qu'en 1877 elle a été de 515, donc une augmentation de 84 sur le courant équatorial.

Ce résultat est confirmé par le relevé du nombre de jours de forte bise et de fort vent du midi, donné dans le tableau suivant :

	Nombre de jours de	
	forte bise.	fort vent du Midi.
Décembre 1876 . .	2	3
Janvier 1877	2	5
Février.	4	3
Mars	5	6
Avril	2	1
Mai	2	4
Juin	1	4
Juillet	1	7
Août	0	5
Septembre	6	1
Octobre	4	1
Novembre	1	1
Hiver.	8	11
Printemps	9	11
Été.	2	16
Automne	11	3
Année 1877	30	41

Le nombre moyen de jours de forte bise dans l'année est de 42 ; les fortes bises ont été par conséquent sensiblement moins fréquentes que de coutume en 1877 ; le nombre moyen de jours de fort vent du midi est de 44, et il dépasse de très peu le chiffre observé en 1877, d'où l'on peut conclure que, si les vents du sud ont soufflé plus fréquemment que de coutume, ils n'ont pas atteint plus souvent une grande force.

Les vents observés au Saint-Bernard pendant l'année 1877 sont :

ÉPOQUE.	VENTS. NE.	SO.	Rapport.	RÉSULTANTE. Direction.	Intensité sur 100.	Calme sur 100.
Déc. 1876.	175	191	0,92	S 45° O	5,7	1,1
Janv. 1877.	288	137	2,10	N 45 E	54,1	0,0
Février . .	390	20	19,50	N 45 E	146,8	0,0
Mars. . . .	288	161	1,79	N 45 E	45,5	0,0
Avril . . .	244	120	2,03	N 45 E	45,9	0,4
Mai	186	167	1,11	N 45 E	6,8	0,0
Juin. . . .	160	120	1,33	N 45 E	14,8	2,2
Juillet . . .	218	117	1,86	N 45 E	36,2	0,0
Août . . .	133	201	0,66	S 45 O	24,4	0,0
Septembre.	238	88	2,71	N 45 E	55,5	0,0
Octobre. .	264	75	3,52	N 45 E	67,7	0,0
Novembre.	191	143	1,33	N 45 E	17,8	0,0
Année. . .	2775	1540	1,80	N 45 E	37,6	0,3

Pluie ou neige, dans l'année 1877.

ÉPOQUE.	GENÈVE. Nombre de jours.	Eau tombée.	Nombre d'heures.	SAINT-BERNARD. Nombre de jours.	Eau tombée.
		mm			mm
Décemb. 1876.	15	85,5	70	11	185,2
Janvier 1877 .	11	40,8	44	4	50,6
Février	13	58,0	75	7	122,3
Mars	18	75,2	125	11	115,1
Avril	17	60,1	88	11	89,1
Mai	21	222,3	140	13	251,8
Juin.	6	46,9	22	3	21,4
Juillet.	16	90,3	76	13	115,5
Août	11	102,1	38	6	67,6
Septembre. . .	7	22,0	18	5	37,8
Octobre	11	60,3	46	5	22,7
Novembre. . .	17	132,8	123	10	158,2
Hiver	39	184,3	189	22	358,1
Printemps. . .	56	357,6	353	35	456,0
Été	33	239,3	136	22	204,5
Automne . . .	35	215,1	187	20	218,7
Année.	163	996,3	865	99	1237,3

Hauteur de la neige tombée au Saint-Bernard dans les différents mois de 1877.

	millimètres.
Décembre 1876. . . .	2725
Janvier 1877	650
Février.	1350
Mars	1540
Avril	980
Mai.	1785
Juin	40
Juillet.	60
Août	0
Septembre	160
Octobre.	300
Novembre	1860
Année	11450

La comparaison de l'année 1877 avec la moyenne des 50 années 1826-75, pour Genève, et avec celle des 27 années 1848-67, pour le Saint-Bernard, donne les différences suivantes pour le nombre de jours de pluie, et pour la quantité d'eau tombée.

	ÉCARTS A GENÈVE		ÉCARTS AU ST.-BERNARD	
	Jours de pluie.	Eau tombée. mm	Jours de pluie.	Eau tombée. mm
Décembre 1876	+ 6	+ 34,5	+ 3	+112,1
Janvier 1877 ..	+ 1	— 8,0	— 7	— 78,5
Février	+ 5	+ 21,5	— 2	+ 28,7
Mars.........	+ 8	+ 27,9	0	+ 18,2
Avril.........	+ 7	+ 3,3	0	— 31,0
Mai..........	+ 9	+143,2	+ 2	+131,8
Juin	— 5	— 29,1	— 7	— 80,0
Juillet	+ 7	+ 19,5	+ 4	+ 40,4
Août.........	+ 1	+ 21,7	— 3	— 18,2
Septembre ...	— 3	— 72,2	— 4	— 78,2
Octobre	— 1	— 40,7	— 5	—119,6
Novembre	+ 6	+ 58,8	0	+ 59,6
Hiver 1877....	+12	+ 48,0	— 6	+ 62,3
Printemps. ...	+24	+174,4	+ 2	+119,0
Été..........	+ 3	+ 12,1	— 6	— 57,8
Automne	+ 2	— 54,1	— 9	—138,2
Année 1877....	+41	+180,4	—19	— 14,7

Tandis que l'année 1877 a été exceptionnellement humide à Genève, soit par l'excédant du nombre de jours de pluie, soit par la plus grande quantité d'eau tombée, elle a été plutôt sèche au St-Bernard. Dans les deux stations, il est tombé une plus grande quantité d'eau que de coutume en hiver et au printemps, mais l'excédant du printemps est notablement plus fort à Genève qu'au St-Bernard. Dans les deux stations, l'automne a été sec, mais à un degré beaucoup plus prononcé au St-Bernard qu'à Genève ; l'été enfin donne à Genève un petit excédant d'eau, tandis qu'il y a au contraire déficit au St-Bernard. Comme les précipitations ont été moins nombreuses et moins abondantes, au St-Bernard à l'époque de l'année où elles ont lieu sous la forme de pluie, c'est-à-dire en été et au commencement de l'automne, plus abondantes, au contraire, à l'époque de l'année où elles ont lieu sous la forme de neige, c'est-à-dire en hiver, au printemps et à la fin de l'automne, la hauteur de la neige tombée dans l'année, savoir près de $11^{m},5$, est au-dessus de la moyenne.

A Genève, les chutes de neige ont été complètement insignifiantes ; dans les cas où la neige ne fondait pas à mesure qu'elle tombait sur le sol, et où il était possible de mesurer la hauteur de la couche, elle disparaissait au bout de quelques heures. On a ainsi 36^{mm} pour la hauteur totale de la couche tombée au mois de décembre, à différentes reprises ; au mois de janvier, il n'en est point tombé du tout, et même le 11 de ce mois, on a noté le phénomène assez rare que sauf de très faibles traces de neige sur le sommet du Jura, elle avait disparu de toutes les autres montagnes entourant immédiatement la vallée; la hauteur marquée pour le mois de février est de 65^{mm}

et de 58^{mm} pour le mois de mars ; dans les autres mois, il n'en est pas tombé.

Époque.	Périodes de sécheresse.	Périodes pluvieuses.	Pluie dans 24 heures au-dessous de 1^{mm},0.	Pluie dans 24 heures au-dessous de 0^{mm},25.	Pluie dans 24 heures maximum.	Pluie dans 24 heures dépassant 3^{cm}
Décembre 1876	6 jours (9–14)	6 jours (3– 8)	3	0	mm 21,2 le 7	–
Janvier 1877 ..	9 » (16–24)	4 » (29– 1 fév.)	4	1	14,8 le 2	–
Février	4 »	3 »	6	1	26,1 le 13	–
Mars	5 »	10 » (18-27)	3	0	11,1 le 25	–
Avril	4 »	4 »	3	0	11,2 le 4	–
Mai	6 » (22–27)	12 » (4–15)	3	1	44,3 le 12	2
Juin	11 » (6–16)	2 »	0	0	15,9 le 5	–
Juillet	5 »	7 » (14–20)	2	0	15,7 le 12	–
Août	6 »	5 » (19–23)	3	2	32,4 le 23	1
Septembre....	11 » (11–21)	5 » (6–10)	2	0	9,0 le 9	–
Octobre......	10 » (23 sept. 2 oct.)	3 »	3	1	23,0 le 24	–
Novembre	6 »	7 » (7–13)	3	0	21,1 le 12	–
Année	11 jours (du 6 au 16 juin et du 11 au 21 sept.)	12 jours (du 4-15 mai)	35	6	44,3 le 12 mai	3

Le tableau précédent renferme, pour chaque mois, sous la même forme que dans les résumés antérieurs, les plus longues périodes de sécheresse, ou de jours consécutifs sans pluie, et les plus longues périodes pluvieuses, c'est-à-dire de jours consécutifs de pluie. On voit par conséquent que la plus longue période pluvieuse dans l'année a été de 12 jours au mois de mai, et qu'elle dépasse les plus longues périodes de sécheresse qui ont été de 11 jours au mois de juin et au mois de septembre. C'est un phénomène très rare, car les périodes de sécheresse sont en moyenne de 2 à 3 fois plus longues que les périodes pluvieuses. Ce tableau renferme également le nombre de jours de pluie, dans chaque mois, où la quantité d'eau a été très faible, au dessous d'un millimètre, ou presque insignifiante, au dessous d'un quart de millimètre; de même aussi la quantité maximum d'eau tombée dans 24 heures, pour chaque mois.

L'on trouve, pour Genève, dans un des tableaux précédents, le nombre d'heures de pluie pour chaque mois; ce caractère important des précipitations aqueuses, leur durée relative, peut être indiqué sous une forme plus commode, qui a en outre l'avantage d'éliminer l'inégalité de longueur des mois. La durée relative est donnée par le rapport du nombre d'heures de pluie au nombre total d'heures dans le mois, dans la saison, ou dans l'année. Le tableau suivant indique en même temps combien d'heures la pluie a duré en moyenne un jour de pluie, enfin l'intensité de la précipitation, soit la hauteur de la couche tombée en moyenne par heure.

GENÈVE.

Époque.	Durée relative de la pluie.	Nombre moyen d'heures par jour.	Eau tombée dans 1 heure.
Décembre 1876...	0,094	4,67	1mm,22
Janvier 1877.....	0,059	4,00	0,93
Février.........	0,112	5,77	0,77
Mars...........	0,168	6,94	0,60
Avril...........	0,122	5,18	0,68
Mai............	0,188	6,67	1,59
Juin...........	0,031	3,67	2,13
Juillet.........	0,102	4,75	1,19
Août...........	0,051	3,45	2,71
Septembre.......	0,025	2,57	1,22
Octobre.........	0,062	4,18	1,31
Novembre.......	0,171	7,24	1,08
Hiver 1877......	0,088	4,85	0,98
Printemps.......	0,160	6,30	1,01
Été............	0,061	4,12	1,76
Automne........	0,086	5,34	1,15
Année..........	0,099	5,31	1,15

Ce n'est qu'à partir de l'année 1861 que l'on a commencé, à Genève, à noter le nombre d'heures de pluie ; les résultats que l'on peut en déduire en moyenne, quant à la durée relative et à l'intensité de la pluie, ne reposent ainsi que sur un nombre d'années assez limité. Si l'on compare néanmoins l'année 1877 avec ces moyennes, on trouve une augmentation très notable dans la durée relative de la pluie, savoir 0,099, au lieu de 0,078 ; comme la pluie ne peut tomber que tant que l'air est saturé dans les régions supérieures de l'atmosphère, l'on doit conclure qu'en 1877 la saturation des couches supérieures était plus fréquente et plus prolongée qu'elle ne l'est ordinairement. Or, près de la surface du sol, l'on trouve au contraire un nombre de cas de saturation nota-

blement plus faible que de coutume, surtout en hiver, et, pour l'année, une fraction de saturation plutôt au-dessous de la moyenne. Il faut, par conséquent, admettre que par suite d'un abaissement de la température plus rapide que de coutume en passant des couches inférieures aux couches supérieures, celles-ci se soient trouvées plus fréquemment à l'état de saturation.

L'année 1877 a été une année orageuse, comme on peut le voir d'après le nombre de jours, où le tonnerre a été entendu à Genève dans les différents mois.

ÉPOQUE.	GENÈVE Jours de tonnerre	Jours d'éclairs sans tonnerre.
Décembre 1876	1	1
Janvier 1877	1	0
Février	0	1
Mars	0	0
Avril	2	0
Mai	4	0
Juin	8	5
Juillet	8	2
Août	7	3
Septembre	2	0
Octobre	0	0
Novembre	1	0
Année 1877	34	12

Le nombre moyen de jours de tonnerre à Genève, d'après la série des 30 dernières années, est de 25.

Le tableau suivant renferme enfin les données relatives à la nébulosité dans les deux stations ; si l'on compare les chiffres, pour Genève, avec ceux qui ont été déduits des observations faites depuis l'année 1847, on voit qu'en moyenne dans l'année le ciel a été un peu plus clair que de coutume, ce qui est dû surtout à une moins grande nébulosité en hiver et en automne, tandis que le prin-

temps a été plus nébuleux qu'il ne l'est en moyenne. Ce degré moins fort de nébulosité tient surtout à ce que le nombre de jours entièrement, ou presque entièrement couverts, a été sensiblement moins fort qu'il ne l'est ordinairement, car il n'y a pas d'augmentation dans le nombre des jours entièrement, ou presque entièrement clairs. En d'autres termes, si le nombre de beaux jours n'a pas été plus grand que de coutume en 1877, l'on n'a pas eu des séries aussi longues de jours entièrement brumeux, et le ciel s'éclaircissait pendant une partie de la journée. La nébulosité en hiver est due fréquemment à la condensation sous forme de brouillard dans les couches superficielles, et dans les mois de novembre, décembre et janvier l'on a assez souvent à Genève des cas de brouillard, persistant non seulement pendant un jour entier, mais pendant plusieurs jours consécutifs ; ainsi l'on en compte 23 dans l'année 1876 pendant ces trois mois, tandis qu'il n'y en a eu en tout que 2 en 1877.

État du ciel.

ÉPOQUE.	GENÈVE. Jours clairs.	Jours peu nuag.	Jours très-nuag.	Jours couverts.	Nébulosité moyenne.	SAINT-BERNARD. Jours clairs.	Jours peu nuag.	Jours très-nuag.	Jours couverts.	Nébulosité moyenne.
Déc. 1876.	0	2	9	20	0,80	4	11	8	8	0,55
Janv. 1877.	1	8	12	10	0,64	11	4	5	11	0,51
Février ...	3	3	7	15	0,72	3	4	7	14	0,67
Mars	1	7	5	18	0,73	6	2	7	16	0,66
Avril......	6	6	5	13	0,60	7	6	4	13	0,59
Mai.......	4	6	8	13	0,64	5	4	4	18	0,69
Juin	11	8	10	1	0,37	11	9	5	5	0,39
Juillet.....	5	6	10	10	0,56	8	3	11	9	0,58
Août......	8	11	7	5	0,45	8	9	6	8	0,48
Septembre.	13	5	7	5	0,40	10	5	9	6	0,45
Octobre ...	10	4	8	9	0,51	7	11	7	6	0,47
Novembre.	4	2	4	20	0,75	10	3	3	14	0,52
Hiver	4	13	28	45	0,717	18	19	20	33	0,571
Printemps.	11	19	18	44	0,658	18	12	15	47	0,650
Été	24	25	27	16	0,462	27	21	22	22	0,483
Automne ..	27	11	19	34	0,554	27	19	19	26	0,481
Année.....	66	68	92	139	0,595	90	71	76	128	0,546

GENÈVE 1877.

ÉPOQUE.	Brouillard tout le jour.	Brouillard une partie de la journée.	Nombre total.
Décembre 1876. . .	1	7	8
Janvier 1877	0	2	2
Février.	0	2	2
Mars.	0	2	2
Avril.	0	1	1
Septembre	0	1	1
Octobre	0	3	3
Novembre	1	2	3
Année	2	20	22

SUR

UNE DÉFENSE D'ÉLÉPHANT

TROUVÉE

AU BOIS DE LA BATIE, PRÈS DE GENÈVE

ET

SUR LES ÉLÉPHANTS FOSSILES RECUEILLIS EN SUISSE,

PAR

M. A. FAVRE

Professeur à l'Académie de Genève.

Ayant été prévenu [1], dans le courant du mois d'août dernier, qu'on avait découvert une défense d'éléphant au Bois de la Bâtie, sur la rive gauche de l'Arve, à une petite distance à l'ouest de Genève, je m'y rendis sans tarder. Le fragment de défense que je pus retirer des sables et graviers était de 85 centimètres de longueur environ, et l'extrémité antérieure était entière et conique. J'ai pu constater par suite de la présence de petits fragments d'ivoire décomposé adhérents au sable qu'au moment où la défense avait été découverte, la longueur totale en avait été de 1 mètre 55 cent.; mais plusieurs fragments avaient déjà été dispersés. Le pourtour de la partie la plus épaisse, un peu ovale, avait 39 centimètres de longueur.

Cette défense était en assez mauvais état par suite de

[1] Par l'obligeante entremise de M. Lendner, pharmacien.

la transformation de l'ivoire en une matière blanche, mate et cassante, imbibée d'humidité et très fissurée.

La trouvaille a été faite dans une grande galerie creusée dans la falaise qui prolonge au sud celle du Bois de la Bâtie proprement dit, à 13 mètres environ au-dessus du niveau de la plaine la plus voisine qui s'étend au pied, et à l'ouest du lieu dit la Queue-d'Arve.

La position géologique de cet emplacement mérite d'être décrite. Le Bois de la Bâtie est un plateau ondulé qui présente la constitution suivante[1] :

1° A sa surface, une argile glaciaire, en général très compacte, contenant des cailloux striés et des blocs erratiques. L'épaisseur en est de 10 mètres et plus, à une certaine distance du bord de la falaise; elle est de 3 mètres dans le voisinage du bord et peut-être moins encore, suivant le point où on la mesure.

Les couches suivantes appartiennent à l'alluvion ancienne :

2° Marne jaune, imperméable, manque par place, 1 m.

3° Conglomérat sableux très dur, 0 m. 25.

4° Alternance de bancs de gravier ou de cailloux roulés alpins et de bancs de sable, plus ou moins pénétrés de ciment calcaire qui donne assez de solidité à l'ensemble pour qu'on puisse y ouvrir des galeries de grandes dimensions sans qu'il soit nécessaire d'en étayer ni les côtés ni la partie supérieure. Les bancs de cailloux sont parfois très durs et ils ont, comme les bancs de sable, une stratification irrégulière; ce sont des amandes superposées; la longueur visible de l'une d'elles, composée de

[1] Necker, *Études géologiques dans les Alpes*, I. — A. Favre, *Recherches géologiques*, t. I, 88. — *Bull. de la Soc. géol. de France*, 1875, III, 723. — E. Favre, *Archives*, 1877, LVIII, 18, 160.

sable, est de 10 mètres et son épaisseur de 1 mètre; d'autres sont beaucoup plus petites. Malgré l'irrégularité, l'ensemble paraît être un dépôt horizontal; il est probable cependant qu'il a une petite pente dans le sens de la vallée. L'épaisseur de cette couche est de 6 m. 50 c.

C'est à peu près au milieu de la hauteur de cette assise et à 40 ou 45 mètres de l'entrée de la galerie qu'a été recueillie la défense d'éléphant.

5° Marne jaune imperméable, 2 m.

6° Lit de gros cailloux, 0 m. 50.

7° Graviers et sables semblables au n° 4, épaisseur 7 mètres.

8° Déblais, éboulements, environ 4 m.

La partie inférieure de ce dernier terrain est au niveau de la plaine située à l'est.

Le gisement de la défense est donc bien évident, il est dans un massif d'alluvion ancienne [1].

Nous sommes disposé à croire que la défense d'éléphant dont nous venons de préciser le gisement a appartenu à l'*Elephas antiquus* Falc., plutôt qu'à l'*Elephas primigenius* Blum. ou *Mammouth*. En effet, quoique dans quelques localités on ait constaté que ces deux animaux ont pu être contemporains, l'*Elephas antiquus* est en général plus ancien que le *Mammouth*, et ce dernier ne se trouve que dans les terrains postglaciaires. On l'a dit déjà plusieurs fois.

Malheureusement on ne peut déterminer les espèces d'Éléphants au moyen des défenses, les molaires seules

[1] On désigne dans les environs de Genève les parties tenaces de l'alluvion ancienne sous le nom de béton, parce qu'elles présentent la solidité de la matière connue sous le même nom et employée dans les constructions.

ont fourni les caractères distinctifs sur lesquels a été basée la classification de ces animaux. Nous resterons donc dans l'incertitude sur le nom de l'Éléphant dont une défense vient d'augmenter la collection du Musée, jusqu'à ce qu'une heureuse découverte nous tire d'embarras.

Principales localités de la Suisse dans lesquelles ont été recueillis des débris d'Éléphants.

Canton de Bâle.

On a trouvé plusieurs fois des ossements d'éléphant dans le lit du Rhin, aux environs de la ville de Bâle. D'autres à Mutterz[1]? (Cuvier, *Ossements fossiles.*)

D'autres encore à Allschwyl, à l'ouest de Bâle, notamment en 1868.

Des ossements de *Mammouth* ont été recueillis dans les graviers de Liestal, vallée de l'Ergolz, de Diegten un peu plus en amont et de Mönchenstein, vallée de la Birse (Heer, *Urwelt,* trad. française, 669).

Une défense sur le Wasserfallen, au sud de Reigoldswyl (Gressly, *Jura soleurois,* 321).

On en a souvent recueilli des ossements près du rocher d'Istein, bien en aval de Bâle, dans le grand-duché de Bade (Daubrée, *Mém. Soc. d'Hist. nat. de Strasbourg,* 1850, IV; P. Merian, *Beitræge zur Geogn.* 1821; *Verh. d. nat. Ges. in Basel,* 1838, III, 40).

D'autres à Hertin[2]? (Cuvier, *Ossements fossiles*).

[1] Probablement Muttenz, au S.-E. de Bâle.

[2] Probablement Hertingen, pas loin d'Istein, grand-duché de Bade.

Canton de Zurich.

Dans la ville même de Zurich (Cuvier, *Ossements fossiles*).

A Knonau au nord de Cham (Escher, *Geogn. Schild. d. K. Zürich, Gemälde d. Schweiz*, 1834).

A Maschwanden au nord de Cham, molaire de *Mammouth* (Heer, *ibid.*, 668).

A Rapperschwyl sur les bords du lac de Zurich, un fragment de défense (*Bull. Soc. géol. de France*, 1843, XIV, 163).

A Dürnten, on a trouvé deux molaires et des ossements d'éléphant à la base de la couche de charbon fossile et au-dessous du terrain glaciaire. Ils appartiennent à l'*Elephas antiquus* Falc. (Heer, *ibid.*, 610).

Dans les bancs de gravier d'Irgenhausen près de Wetzikon, qui paraissent être supérieurs aux charbons fossiles de cet endroit et inférieurs au terrain glaciaire, on a trouvé un ossement d'éléphant ; on ne peut reconnaître l'espèce à laquelle il appartient (Heer, *ibid.*, 668).

A Holzerwied près de Bussenhausen, au nord de Pfeffikon, une molaire de *Mammouth* (Heer, *ibid.*, 668).

Dans les graviers postglaciaires du grand-duché de Bade, non loin du canton de Zurich, à Eglisau (Mœsch, *Matériaux pour la carte géol. suisse*, 1867, 4e livrais., 252). — A Huntwangen au nord-ouest d'Eglisau, on a trouvé une molaire d'*Elephas primigenius* (Heer, *ibid.*, 668 ; Escher, *Geogn. Sch. d. K. Zürich, Gemälde d. Schweiz*, 1834, p. 11).

Canton de Lucerne.

A Lucerne même (Cuvier, *Ossements fossiles*).

A Reiden au sud de Zofingue, on a trouvé en 1577

beaucoup d'ossements d'éléphant au moyen desquels Félix Plater recomposa un homme géant (Heer, *ibid.*, 671 ; Kaufmann, *Mat. carte géol. Suisse*, 1872, 11e livraison, 385).

Entre Hochdorf et Lügschwyl, au sud du lac de Baldegg, on a découvert en 1867 une molaire d'éléphant dans le terrain glaciaire stratifié, qui est bien probablement du terrain postglaciaire (Kaufmann, *Mat. carte géol. suisse*, 1872, 11e livraison, 397).

Canton d'Argovie.

Dans plusieurs endroits du lit de l'Aar, près d'Aarau (Cuvier, *Ossements*; Mühlberg, *Errat. Bild. im Aargau*, 1869, 186 ; Heer, *ibid.*, 670, y indique de belles défenses).

A Rheinfelden (Cuvier, *Ossements*).

Sur la pente de l'Ungerberg, près d'Aarau, d'après M. Mühlberg.

Dans le lœss, voisin d'Ebenberg ? on a recueilli une défense (Mühlberg, *ibid.*, 1869, 187).

Dans le lehm, près d'Eiken non loin de Stein, une défense.

Dans les graviers postglaciaires de Windisch, de Lauffenbourg et de Koblentz (Mœsch, *Mat. carte géol. suisse*, 1867, 4e livr., 252).

A Möhlin à l'est de Rheinfelden, une défense trouvée lors des travaux pour un chemin de fer.

A Luttingen ou Lautingen sur la rive droite du Rhin, non loin de Lauffenbourg et en dehors de la Suisse, on a découvert des molaires de *Mammouth* (Heer, *ibid.*, 611 et 670 ; Mœsch, *ibid.*, 252).

Canton de Soleure.

A la fin du XVIIme siècle, on a trouvé près de la ville de Soleure un tibia et une défense d'éléphant (Lang, *Umgeb. von Solothurn,* 1863, 12 ; Gressly, *Jura soleurois,* 323).

A la ferme de Duleten près du village de Trimbach, au nord-ouest d'Olten, une molaire trouvée dans du gravier lors de l'établissement de la nouvelle route du Hauenstein (Lang, *ibid.*).

A Dornach, à l'intérieur d'une fente de rocher dans une carrière, une molaire (Lang, *ibid.*; Gressly, *Jura soleurois,* 323).

A Erlinsbach, près d'Aarau, une molaire qui appartient à M. Bally, de Schönenwerd.

Canton de Berne.

On a trouvé: deux molaires dans le terrain glaciaire de la Bundesgasse, rue de Berne, non loin du Palais fédéral; trois fragments de défenses dans le terrain glaciaire de Rapperschwyl près d'Affoltern, au nord-ouest de Berne; un radius, près de Neubrück sur l'Aar, également au nord-ouest de Berne (Heer, *ibid.*, 669; Bachmann, *Umgeb. v. Bern,* 1867, p. 12 et 13).

A un quart de lieue de Porrentruy, sur la route de Belfort, quatre dents et une défense d'*Elephas primigenius* (Greppin, *Mat. carte géol. suisse,* 1868, 8e livraison, 200).

Débris de *Mammouth* à Grellingen, sur la Birse (Heer, *ibid.*, 669; Muller, *Geogn. Sk. d. k. Basel,* in-8°, 1851 ; Greppin, *ibid.*).

Canton de Fribourg.

Dans la ville, entre les deux ponts de fils de fer, dans un gravier qui paraît être inférieur au terrain glaciaire (A. Favre, *Recherches géolog.*, I, 51.).

A Perraules près de la gare de Fribourg, une défense.

Canton de Neuchâtel.

Dans du gravier voisin de Cressier (*Bull. Soc. de Neuch.*, 1869, VIII, 217).

Dans le vallon des Combettes, près de la Chaux-de-Fonds (*Mém. Soc. d'Hist. nat. de Neuchâtel,* 1836, II).

Canton de Vaud.

Deux molaires et un fragments d'os d'*Elephas primigenius* Blum. ont été recueillis dans le gravier de la terrasse postglaciaire du Boiron, près de Morges, à 25 mètres au-dessus du lac Léman (*Bullet. Soc. vaud. des Sc. nat.*, 1853, III, 255; 1854, IV. 60; V, 280, 308; Heer, *ibid.*, 669; A. Favre, *ibid.*, I, 50).

Une molaire de l'*Elephas primigenius* Blum. dans le gravier de la terrasse postglaciaire de Lutry, à 22 mètres au-dessus du lac (*Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, V, 309; de Mortillet, *Bull. Soc. géol. de France,* 1865, XXII, 308; *Matériaux pour l'hist. de l'homme,* 1866, II, 273; A. Favre, *ibid.*).

A la Chiésaz près Vevey, deux dents d'éléphant et un fragment de crâne à 253 mètres au-dessus du niveau du lac (*Bull. Soc. vaud. des Sc. nat.*, 1854, IV, 56). Ces ossements paraissent être les mêmes que ceux dont il est

question *Bull. Soc. vaud des Sc. nat.*, III, 25; *Actes Soc. helvétique.* Aarau, 1850, 133).

Une côte d'éléphant recueillie par M. Alex. Rochat, ingénieur, dans une carrière de gravier située à 500 mètres à l'ouest du village de Bioley-Orjulaz et à quatre kilomètres environ au sud-ouest d'Échallens (Musée de Genève).

A Cossonay, une défense découverte en 1859 dans le gravier diluvien (Jaccard, *Matér. carte géolog. suisse*, 1867, 6me liv., p. 31).

Canton de Genève.

Une défense fut recueillie en 1786 par H.-B. de Saussure sur la rive droite de la London, près de son embouchure dans le Rhône (en aval de Genève).

A peu près dans le même temps, il en trouva une autre sur la rive gauche du Rhône, en face d'Onex, et à 150 pas environ en aval du moulin de l'Évaux (*Biblioth. britanniq. de Genève. Littérat.*, 1796, I, 661).

Une petite défense a été trouvée, il y a peu d'années, dans la falaise située entre le Rhône et le village de Russin (Musée de Genève). On prétend qu'à cette époque et dans le même emplacement on avait découvert une tête d'éléphant qui a été détruite.

Enfin la défense recueillie au Bois de la Bâtie qui fait le sujet de cette note et sur laquelle j'ai déjà dit quelques mots dans le *Journal de Genève* du 23 août 1878.

Un examen des Musées, des collections particulières et peut-être aussi de quelques travaux que je n'ai pu consulter, fournirait très probablement des renseignements plus amples et plus précis sur la distribution des éléphants qui ont habité la Suisse.

M. le professeur Brun a détaché de l'intérieur de la défense trouvée au Bois de la Bâtie une petite quantité de la matière parenchymateuse, et après l'avoir dissoute dans l'acide chlorydrique il a obtenu un résidu de particules organiques. Il a pu y reconnaître du charbon, des spores d'algues, des spores de champignons et quatre espèces de diatomées vivant encore actuellement dans les eaux stagnantes des environs de Genève, enfin un Peridinium, animalcule à carapace siliceuse, jusqu'ici mal déterminé que M. Brun avait déjà observé dans les vases du lac de Genève et dans les eaux qui proviennent des glaciers[1].

[1] *Journal de Genève* du 9 septembre 1878.

RECHERCHES

FAITES DANS LE

LABORATOIRE DE PHYSIOLOGIE

DE GENÈVE

X

Sur les nerfs dits arrestateurs

Par M. le professeur SCHIFF.

(Suite et Fin.)

---

4. *Sur deux nouveaux nerfs arrestateurs.*

Les différents organes chez lesquels on a trouvé jusqu'ici des nerfs arrestateurs, le cœur, les vaisseaux, l'intestin, offrent un point de commun. C'est le sang qui excite leurs contractions normales, ou qui peut les exciter dans beaucoup de cas.

Quant au cœur, personne ne peut plus douter que le sang provoque et maintient ses contractions normales, quoique, dans des conditions expérimentales, son influence puisse être remplacée par d'autres irritants.

A l'état normal, la contraction vasculaire est excitée par l'action locale du sang et par l'influence des centres des nerfs vasomoteurs. Si ces derniers sont paralysés, les vaisseaux se dilatent plus ou moins fortement, mais

peu de temps après, une nouvelle contraction a lieu sous l'influence locale du sang. Cette contraction est généralement un peu moins forte et surtout moins persistante que la contraction normale, mais elle est assez énergique pour qu'elle ait pu faire admettre par quelques observateurs, que l'influence de la paralysie vasculaire disparaît entièrement quelques jours après la section des nerfs vasomoteurs.

Quant à l'intestin, nous ne savons encore rien de certain sur la cause qui produit ses mouvements dans l'état normal. Mais ce qu'il y a de certain, c'est que la stagnation du sang, ou un fort ralentissement du mouvement circulatoire, ou une forte dilatation locale de ses vaisseaux, produit des mouvements péristaltiques. Il est très possible qu'il n'existe pas de mouvement intestinal physiologique, qui ne soit pas provoqué par une de ces modifications de la circulation locale.

Quoi qu'il en soit, le fait que le sang agit ou peut agir comme irritant sur les organes qui sont doués de nerfs arrestateurs, paraît être très important, si l'on accepte la manière de voir que j'ai cherché à développer dans cette série de mémoires, c'est-à-dire si l'on admet que les nerfs d'arrêt n'agissent pas directement sur l'organe comme antagonistes de son mouvement, mais agissent sur les terminaisons nerveuses en les modifiant de manière que certaines irritations normales perdent leur point d'attaque, c'est-à-dire cessent d'être des irritations.

On pourrait peut-être supposer que parmi les modifications produites dans les nerfs moteurs par les agents irritants, ce serait plus particulièrement celle produite par le sang, qui pourrait être supprimée, ou dont l'effet pourrait être neutralisé par l'irritation d'autres filaments

nerveux qui, à côté des nerfs moteurs proprement dits, se distribuent dans l'intérieur de l'organe.

S'il y a donc d'autres parties qui se meuvent sous l'influence du sang, ce serait dans ces parties qu'il faudrait surtout chercher des nerfs arrestateurs.

Et il faudrait les chercher, non dans les nerfs moteurs, mais dans les autres nerfs (sensibles, vasculaires) qui se rendent au même organe.

Si outre les mouvements indiqués, nous n'en connaissons pas d'autres, dans l'état actuel de la science, qui, chez l'animal normal, puissent être attribués à l'irritation produite par le sang, nous connaissons néanmoins depuis longtemps quelques mouvements pathologiques produits par la paralysie et la dégénération des troncs nerveux moteurs, qui sont, d'après nos nouvelles recherches, provoqués par l'influence du sang contenu dans les vaisseaux des organes.

Tandis que l'on admettait généralement que les muscles dont on a coupé le nerf moteur et qui ne peuvent plus exécuter de mouvements volontaires, restent immobiles jusqu'à la mort, à moins qu'on ne soumette cette substance à une irritation artificielle et directe ; je découvris en 1851 que la langue des mammifères commence à montrer quatre jours après la section de son nerf moteur, une série de mouvements fibrillaires qui, augmentant de fréquence et d'intensité, occupent quelques jours plus tard toute la surface de l'organe et y produisent une espèce de scintillation continue. Ces mouvements se montrent avec une intensité très variable et quelquefois avec une énergie surprenante pendant toute la vie de l'animal, pendant la veille et le sommeil, et dans les différents états physiologiques. Ces mouvements continus donnent à la moitié para-

lysée de la langue et surtout à sa face *inférieure*, où les muscles sont fixés plus intimement à la membrane muqueuse, un aspect fort différent de celui de la moitié non paralysée qui reste absolument inactive dans les intervalles des mouvements volontaires.

A la même époque, je signalai dans d'autres muscles un mouvement fibrillaire paralytique tout à fait analogue. Ce mouvement ne donne pas lieu en général à un effet mécanique visible au travers de la peau. Seulement le mouvement fibrillaire des muscles qui meuvent les poils des moustaches de certains mammifères, des lapins, des chats, produit quelques jours après la section du nerf moteur de ces muscles, qui provient du nerf facial, un mouvement très léger, mais continu des racines de ces poils; ce mouvement, rendu plus visible grâce à la longueur des poils agissant comme des leviers indicateurs, prend la forme d'une oscillation continuelle, qui subsiste pendant toute la vie de l'animal, c'est-à-dire pendant un temps indéfini ; à moins que quelques mois après la section il se produise des contractures musculaires, gênant le mouvement des poils.

Ces mouvements diffèrent probablement, par leur nature et par leur origine, d'une autre espèce de mouvements paralytiques que Brown-Séquard avait déjà observé en 1849 sur un cochon d'Inde dont il avait coupé le nerf moteur de la face, mouvement que l'on peut attribuer avec Brown-Séquard à une accumulation d'acide carbonique dans le sang[1].

Pendant très longtemps, j'ai hésité à me prononcer sur la cause probable de ces mouvements, mais enfin j'ai

[1] Voyez Comptes rendus de la *Société de Biologie*, I, p. 159.

fait une série d'observations me paraissant indiquer que le sang en circulation peut être regardé comme l'irritant qui produit l'effet décrit, en agissant sur les extrémités périphériques des nerfs coupés ou paralysés. On sait que l'excitabilité de ces extrémités non médullaires est non seulement conservée après la section de leur tronc, mais qu'elle paraît même être augmentée par le défaut d'une excitation énergique du côté central des nerfs.

Chez des mammifères et mieux encore chez des oiseaux, dont on a coupé les nerfs d'une extrémité depuis au moins 8 à 10 jours, on découvre très soigneusement et sans produire d'hémorrhagie les muscles de l'extrémité paralysée, en enlevant soigneusement toutes les membranes jusqu'à la fibre charnue. On observe le muscle dans une lumière vive réfléchie. Les mouvements fibrillaires sont ordinairement beaucoup plus faibles que dans la langue, et très souvent il n'y en a que quelques faibles traces. On ouvre une petite artère ou veine de la peau, on aspire une goutte de sang dans un tube de verre et on fait couler le sang sur la substance du muscle. Presque aussitôt après le mouvement devient plus vif et plus rapide. Quand on blesse le muscle légèrement, on produit quelquefois une très faible hémorrhagie, qui a pour effet d'augmenter le mouvement fibrillaire dans toutes les parties du muscle, où on laisse couler le sang.

Si, dans d'autres cas, les mouvements fibrillaires sont très faibles, on en augmente notablement l'énergie en comprimant des vaisseaux des parties voisines, de manière à forcer le sang à circuler en plus grande quantité et avec une pression un peu élevée dans le muscle découvert, qu'on observe à l'aide d'une faible lentille.

Chez un animal (chien) chloralisé, dont une moitié de la langue montre des mouvements fibrillaires très énergiques à la suite de la section du nerf hypoglosse pratiquée une quinzaine de jours auparavant, on peut diminuer ou faire à peu près cesser ces mouvements en injectant dans l'artère linguale une solution aqueuse d'acide biliaire (glycocholate de soude). Il faut en injecter une quantité assez considérable qui doit se mêler au sang circulant dans la langue. On sait que l'acide biliaire possède la propriété de priver le sang auquel il est mêlé de ses propriétés excitantes, bien que quand il est plus concentré cet acide devienne lui-même un excitant pour les tissus irritables. C'est ainsi que l'acide biliaire, mêlé lentement et en grande quantité au sang, produit la lenteur du pouls, qu'on rencontre si souvent dans l'ictère, parce qu'il diminue l'excitation du cœur par le sang. Mais si, en injectant par la veine jugulaire, on laisse arriver au cœur une solution trop concentrée qui agit directement sur l'organe, il se produit une irritation et le pouls devient trop rapide.

La diminution qu'on peut produire dans le mouvement fibrillaire de la langue par l'injection d'une solution de bile dans le sang est toujours assez passagère et cesse très vite après l'injection.

Ces faits montrent que le sang a une très grande influence sur le mouvement fibrillaire qui se montre après la section des nerfs moteurs, et que ce mouvement est changé avec les modifications de la circulation. L'impossibilité dans laquelle nous nous trouvons d'assigner une autre cause excitante à ces mouvements, nous permet de regarder le *sang* comme l'irritant qui *produit* ces contractions fibrillaires.

Et si le sang devient l'irritant des muscles de la langue ou des moustaches des mammifères, est-ce que nous serions trop hardis en nous demandant si, outre leurs nerfs moteurs, ces muscles n'en possèdent pas peut-être d'autres qui pourraient agir en modérant l'irritation produite par le sang, qui pourraient en devenir les nerfs arrestateurs ?

Il s'agit de tenter l'expérience.

I. — Les racines des poils de la lèvre supérieure des lapins et des chats, racines auxquelles se fixent les muscles qui produisent les mouvements des poils, ne reçoivent que deux nerfs. Le nerf moteur, qui provient du facial et le nerf sensitif qui vient du rameau sous-orbitaire du trijumeau. Lorsque le tronc du nerf moteur a été réséqué et se trouve en dégénérescence, comme c'était toujours le cas quand nous avons observé les mouvements fibrillaires des moustaches, il ne reste que les ramifications du nerf trijumeau.

Pour irriter ces dernières pendant qu'on observe les mouvements oscillatoires des moustaches, nous avons opéré sur des lapins non anesthésiés. Les animaux étaient bien fixés par un aide, qui en tenait le corps avec les deux mains, notre main droite fixant la tête, en projetant les moustaches sur un papier blanc, qui couvrait une partie de la table, notre main gauche fixant avec le doigt le trou sous-orbitaire par lequel passe le nerf sensible de la lèvre supérieure.

Après avoir observé pendant quelque temps le mouvement oscillatoire des moustaches, qui est d'autant plus visible que celles-ci sont plus longues, et après avoir choisi 1 ou 2 poils dont le mouvement est plus visible, on passe l'ongle transversalement au-dessous du trou

sous-orbitaire, en comprimant fortement la peau contre l'os. On irrite ainsi le nerf par une compression, sans produire une plaie et sans causer trop de douleur à l'animal. Pendant l'irritation, l'animal doit être bien fixé pour prévenir ses mouvements, car il cherche toujours à se retirer ou à se délivrer. Il ne faut pas appuyer trop fortement avec le doigt, pour ne pas blesser le lapin et pour ne pas faire une irritation trop douloureuse. Il suffit que le nerf ait été légèrement irrité et que pendant ce temps l'observation des moustaches n'ait pas été interrompue, pour constater qu'au moment de l'irritation et durant quelque temps après l'*oscillation des poils cesse complètement*. Les poils se dirigent en arrière comme dans l'état de repos et restent immobiles. Après peu de temps leurs mouvements recommencent, d'abord faiblement et lentement, ensuite d'une manière plus énergique, jusqu'à ce que le mouvement habituel soit rétabli. L'expérience peut être répétée : je l'ai démontrée de cette manière cinq à six fois de suite, ce qui ne serait pas possible avec une lésion plus profonde et pénétrante.

Toutefois je n'ai pas voulu terminer ces expériences sans avoir essayé l'effet d'une irritation galvanique. Je me suis servi de très faibles courants d'induction en agissant sur le lapin faiblement chloralisé et j'ai obtenu le même effet. L'oscillation était arrêtée pendant l'irritation du nerf sous-orbitaire.

Ces dernières expériences servirent surtout à éloigner le soupçon que ce nerf puisse agir comme arrestateur, non directement par ses ramifications dans l'épaisseur de la lèvre, mais d'une manière réflexe, en excitant par l'intermédiaire des centres un autre nerf, non encore déterminé. On coupa le nerf sous-orbitaire. Après quelques heures on

irrita par des courants d'induction son bout *périphérique*, et les oscillations cessèrent. On irrita (sur l'animal chloralisé) le bout central et les oscillations persistèrent. Elles paraissent plutôt augmenter dans quelques cas et après une certaine durée de l'irritation centrale.

Ces expériences très simples et souvent répétées établissent donc d'une manière incontestable *que le nerf sous-orbitaire peut fonctionner comme nerf arrestateur des mouvements fibrillaires qui se produisent dans les moustaches quelque temps après la section du nerf facial.*

II. — Les expériences faites sur la langue ont donné lieu à des résultats encore plus singuliers et plus intéressants.

On sait que la partie antérieure de la langue (c'est exclusivement de cette partie que nous parlerons) reçoit deux ou, si l'on veut, trois faisceaux nerveux :

1° Le nerf hypoglosse se rend exclusivement aux muscles striés et en partie aux muscles vasculaires. Une partie de ses ramifications terminales entre dans un réseau ganglionnaire qui lui est commun avec les dernières ramifications internes du nerf lingual.

2° Le faisceau qui constitue le nerf lingual proprement dit est composé de trois ordres de nerfs d'origine et de rapports différents. La partie la plus volumineuse vient directement de la troisième branche du nerf trijumeau, et donne à la langue la sensibilité générale. Une autre partie du lingual sert à la sensibilité gustative de la partie antérieure de la langue. Depuis longtemps on a reconnu qu'elle était une partie spéciale, mais on a beaucoup discuté sur son origine et son parcours avant son entrée dans le nerf lingual. D'après nos recherches, cette portion appartient originairement au trijumeau et sort du crâne avec son *second* rameau, qu'elle quitte

ensuite pour s'accoler au nerf facial en l'accompagnant pendant un certain trajet dans l'intérieur du rocher. Elle revient ensuite par des anastomoses plus ou moins directes vers le trijumeau et entre dans sa troisième branche pour se rendre dans la langue avec le nerf lingual.

Une troisième portion de ce faisceau, que des recherches futures pourront peut-être subdiviser en deux et même en trois sous-divisions, vient du nerf facial, et jouit plus ou moins des propriétés motrices de ce nerf. Cette portion est connue sous le nom de corde du tympan et entre dans le nerf lingual quand celui-ci est déjà séparé des autres rameaux de la troisième branche du trijumeau. Autrefois on admettait avec Arnold que la corde du tympan n'était pas destinée à la langue, mais qu'elle se rendait tout entière dans les glandes salivaires. Des recherches récentes ont démontré qu'une partie passe dans la langue et y est même subdivisée en deux ordres de fibres. Une série de fibres va à la muqueuse avec les ramifications du nerf sensitif ; elle constitue des nerfs vasculaires *dilatateurs* dont l'irritation donne une couleur très rouge et même rouge brique à la partie inférieure de la langue. Une autre série se rend vers les plexus ganglionnaires et ensuite vers les muscles de la langue ; *leur irritation ne produit pas de mouvement dans l'état normal* chez le chien chloralisé, et on ne connaît pas leur fonction physiologique. On comprend que ce sont ces fibres qui, selon toute apparence, promettent un champ fertile à nos recherches.

3° Enfin il y a un troisième faisceau très mince et presque invisible à l'œil nu, qui vient directement du ganglion cervical supérieur du grand sympathique. Ce faisceau est encore peu étudié et le peu que nous savons

de sa distribution anatomique encourage peu aux recherches physiologiques.

Le nerf hypoglosse dans l'état normal est le *seul* nerf moteur de la langue, mais Vulpian a trouvé le fait singulier que quand l'hypoglosse a été coupé depuis quelque temps le nerf lingual acquiert la propriété de produire des mouvements très énergiques des muscles de la langue, lorsqu'il est irrité par des moyens mécaniques ou électriques. C'est un fait facile à constater quand on fait l'expérience plusieurs semaines après la section du nerf hypoglosse. On peut confirmer en outre que cette propriété du nerf lingual, comme Vulpian l'avait déjà observé, appartient aux filets qui émanent de la corde du tympan. Car non seulement le lingual perd cette propriété quatre jours après la section de la corde du tympan, mais il ne l'acquiert jamais si on a coupé la corde en même temps que le nerf hypoglosse. C'est donc à tort que Cyon s'est refusé à admettre que c'est la corde, et non pas le lingual proprement dit, qui devient motrice après la section de l'hypoglosse.

J'ajouterai à cette occasion que cette motricité est, comme nous l'avons appelée, une *propriété,* mais non une *fonction.* Car la paralysie de la langue ne diminue en aucune façon et il ne reparaît pas de trace de mouvement réflexe, lorsque, après la section de l'hypoglosse, le lingual acquiert cette propriété, c'est-à-dire devient un nerf moteur de la langue. S'il est incontestable que la langue montre les oscillations paralytiques plus accentuées que les autres organes du corps, l'existence de ce nerf moteur supplémentaire n'y contribue nullement. Nous avions déjà indiqué en 1851 que la section du nerf lingual mixte (contenant la corde du tympan) ne diminue pas

la vivacité des oscillations. Nous pouvons ajouter que la section préventive de la corde du tympan isolée ne les empêche pas de se manifester.

Après avoir confirmé ces faits, nous avons entrepris une nouvelle série d'expériences sur des chiens chloralisés dont nous avons observé la langue avec une lentille (face inférieure de la langue) pendant l'irritation par des courants d'induction du nerf lingual mixte isolé. Il ne se montrait pas de trace de mouvement dans la langue.

Le résultat ne change pas si on irrite le nerf lingual un ou deux jours ou immédiatement après la section du nerf hypoglosse.

Mais il en est autrement lorsqu'on découvre, coupe et irrite le nerf lingual 8 à 10 jours après la section de l'hypoglosse, les mouvements fibrillaires de la langue étant alors très vifs.

Au moment de l'irritation la langue se rougit, *et elle devient complètement immobile.*

Lorsqu'on cesse l'irritation, les mouvements ne reparaissent pas immédiatement, mais après peu de temps.

Si l'on prolonge l'irritation le mouvement reste suspendu pendant tout le temps de l'irritation.

Si le courant induit est trop affaibli, il y a affaiblissement du mouvement, mais pas un arrêt complet.

On peut s'assurer que l'arrêt du mouvement fibrillaire n'est pas un effet secondaire de la rougeur, de la dilatation vasculaire, car la suspension du tremblement se produit souvent avant la dilatation vasculaire.

Il n'y a pas là une tétanisation occulte qui arrête le mouvement. C'est ce qu'on peut voir directement ; on le voit avec la lentille, et d'ailleurs nous verrons que le mouvement qui peut être produit dans une période plus

avancée par l'irritation du nerf lingual cesse immédiatement avec l'irritation, pendant que l'arrêt dure encore après l'interruption du courant.

Nous avons donc là dans la corde du tympan un nerf arrestateur, un vrai nerf d'arrêt. Mais cet état de choses ne dure pas longtemps : on peut en effet répéter cette expérience avec le même résultat le 12me, le 14me jour après la section de l'hypoglosse; mais dès le 15me ou le 18me jour l'arrêt n'est plus complet. Pendant que le mouvement fibrillaire s'arrête et que la langue est relâchée à sa surface inférieure, ses bords près de la pointe montrent déjà une contraction tétanique très limitée, qui cesse immédiatement avec l'irritation.

Un ou deux jours plus tard (il faut toujours opérer sur d'autres animaux, parce qu'il faut couper le nerf lingual avant l'observation, et le troisième jour après sa section il ne peut plus servir), il y a encore la contraction tétanique limitée aux bords de la langue, mais le mouvement fibrillaire du milieu ne cesse plus, *il devient plus fort.* Ce dernier phénomène part de la partie latérale et gagne bientôt toute la langue.

Un peu plus tard le nerf qui était arrestateur *s'est transformé complètement en nerf moteur.* On peut le tétaniser ou l'irriter par des moyens chimiques ou mécaniques, il ne détermine *que le mouvement,* qui cesse avec l'irritation. Après la cessation, le mouvement fibrillaire reprend sans période de repos, il n'y a plus de trace d'arrêt.

C'est à cette époque seulement que l'on peut vérifier l'observation de Vulpian.

La durée de cette époque paraît être indéfinie.

Après la section du nerf hypoglosse d'un côté, le nerf

lingual (corde du tympan) correspondant passe donc par trois phases.

D'abord son irritation n'a point d'effet, elle ne modifie pas même l'effet de l'irritation simultanée de l'hypoglosse, ensuite le nerf devient *arrestateur*, et plus tard il devient *moteur*.

Y a-t-il un fait plus frappant pour montrer l'affinité intime qui existe entre les nerfs moteurs et les nerfs arrestateurs ?

Peut-on continuer à croire — en présence de ces faits — que la nature motrice ou arrestatrice d'un nerf dépende de la nature de ses terminaisons dans l'organe musculaire ?

L'hypothèse sur la nature et le mode d'action des nerfs d'arrêt, que nous avons osé proposer et développer dans ces mémoires, si elle n'a pas pour elle des preuves *directes*, s'est au moins vérifiée dans une de ses conséquences importantes. Elle nous a conduit à la découverte de deux nouveaux nerfs d'arrêt, et sans elles les propriétés si singulières du nerf lingual seraient peut-être restées cachées encore pour longtemps. Espérons qu'elle nous conduira encore à d'autres faits nouveaux. Si cette hypothèse est condamnée à mourir, j'espère qu'elle ne sera pas condamnée à l'oubli.

Octobre 1878. M. Schiff.

SUR UN EXEMPLE

DE CONSERVATION REMARQUABLE

DE FEUILLES ET DE FRUITS VERTS

DANS DE L'EAU SALÉE

PAR

Alph. DE CANDOLLE

Il y a environ cinquante-trois ans qu'un Français de nos amis, M. Philippe Mercier, grâce à d'anciennes relations avec des colons de la Havane et de la Martinique, avait reçu divers objets d'histoire naturelle, entre autres une branche de caféier avec ses fruits encore verts, contenue dans un bocal rempli, disait-on, d'eau salée. M. Mercier fit cadeau à mon père de cet échantillon. Je l'ai ensuite conservé soigneusement, à cause de la transparence parfaite du liquide et de la couleur verte bien persistante des feuilles et des fruits.

Le bocal, en verre blanc, est haut de 20 centimètres, large de 10, avec une ouverture de 7 centimètres. Celle-ci était fermée par un bouchon recouvert d'une couche de résine, qui interceptait l'air et empêchait l'évaporation. On a transporté souvent ce bocal d'un endroit obscur à un autre éclairé de la lumière diffuse, dans une chambre qui passait de l'hiver à l'été par tous les extrêmes : de $-10°$ à $+28°$ ou $30°$ C.

Plus la conservation devenait remarquable, plus je doutais que le liquide fût simplement de l'eau salée. Malheureusement M. Mercier était mort et je n'avais aucun moyen de savoir comment on avait préparé cet objet. J'essayai de mettre des feuilles et des fleurs ou fruits, de différentes consistances et couleurs, dans de l'eau salée à divers degrés de concentration, mais je les vis toujours s'altérer dans un assez bref délai. L'eau devenait trouble et les matières végétales changeaient de couleur et pourrissaient. Mes essais allant mal, par une cause que j'ignorais alors, je ne les poussai pas plus loin. Il en resta seulement dans mon esprit l'idée que le liquide du bocal n'était probablement pas de l'eau salée.

Au printemps de 1878, je vis que la résine couvrant le bouchon s'était fendue et détachée en quelques endroits. Le liquide commençait à s'évaporer et déjà il paraissait d'une transparence un peu moins complète. C'était le moment de terminer l'expérience.

Avant d'ouvrir le bocal, je le montrai à la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève. On fut étonné de la parfaite conservation de la plante et de la transparence du liquide, dans lequel aucun cristal ne s'était formé. Je chargeai alors un chimiste exact, M. Lossier, de faire une analyse complète du liquide. Voici quel en a été le résultat :

Poids spécifique 1,1259. Réaction acide.

1000 grammes de cette eau contiennent :

Sodium	64,9265
Potassium.	traces
Ammonium	0,0084
A reporter . . .	64,9349

Report . . .	64,9349
Calcium (combiné au chlore) . . .	0,0195
Chaux (comb. à l'ac. sulf.)	0,9709
Magnésium	0,0791
Acide sulfurique	1,3867
Alumine et oxyde de fer	0,0453
Silice	0,1784
Acide phosphorique	0,0689
» nitrique	traces
Chlore	100,3848
Subst. organ. en dissolution. . . .	3,5735
» » en suspension. . . .	0,0319
	171,6739

Traces d'acide carbonique et d'azote — pas d'oxygène.

En groupant ces diverses substances, autant que possible, en sels, on trouve :

Chlorure de sodium	165,0262
» ammonium.	0,0251
» calcium	0,0542
» magnésium	0,3128
Sulfate de chaux	2,3576
Alumine et oxyde de fer.	0,0453
Silice	0,1784
Acide phosphorique	0,0689
» nitrique	traces
Subst. organiques en dissolution . .	3,5735
» » en suspension . .	0,0319
	171,6739

« D'après ces chiffres, dit M. Lossier, cette eau paraît être simplement une dissolution de sel ordinaire.

« L'absence de gaz dans l'eau prouve qu'elle a été bouillie et même versée encore chaude dans le verre. »

C'est là probablement ce qui avait manqué à mes essais. Cependant je me demande pourquoi l'air et les ferments contenus dans le végétal n'avaient pas produit un changement. Avait-on préparé la branche de quelque manière avant de l'immerger dans de l'eau salée ayant bouilli? Et cette eau avait-elle été renouvelée une ou plusieurs fois, avant de fermer le bocal ? Il s'agit aussi de matières vertes et chacun sait que les olives se conservent dans l'eau salée. Le correspondant de M. Mercier avait expédié ces fruits de caféier avant maturité. Avait-il vérifié, peut-être, qu'une fois rouges, le procédé n'aurait pas réussi ?

L'expérience prouve une seule chose : *Des feuilles et fruits verts se sont conservés dans de l'eau salée, dépourvue de gaz, pendant un demi-siècle, et ils auraient persisté plus longtemps si le bocal avait été fermé d'une manière plus durable.* Il faut maintenant chercher comment on a opéré et voir si d'autres matières végétales, ayant d'autres couleurs, se conserveraient aussi bien. J'aurais tenté moi-même quelques essais avant de publier, s'il ne m'avait paru qu'un grand nombre de personnes, en particulier les chimistes qui dirigent des laboratoires, les pharmaciens, etc., ont mieux que moi à leur disposition les appareils nécessaires et sauront mieux procéder pour obtenir de bons résultats. Je leur recommanderai d'essayer, par exemple, sur les champignons, qu'il serait si utile de pouvoir conserver avec les couleurs.

Mon échantillon de caféier a été remis dans de l'eau salée dont la température, élevée d'abord au bain marie, ensuite portée à l'ébullition, était revenue à 80° environ.

Les feuilles et les fruits ne sont plus aussi verts. Ils ont pris au contact de l'air une teinte jaunâtre; cependant on peut augurer une conservation très suffisante aussi longtemps que le bocal sera bien fermé.

On emploie l'alcool ou le borax pour la conservation des matières végétales dans les musées, mais le sel marin aurait des avantages incontestables. C'est une substance économique, facile à se procurer dans tous les pays, et qui ne présente aucune cause d'accidents. L'alcool entraîne assez de frais, car il faut le renouveler de temps en temps. Les matières résineuses et autres s'y dissolvent, ce qui rend les échantillons peu visibles et altère leurs couleurs. Enfin les matelots à bord des vaisseaux et les nettoyeurs dans les Musées sont quelquefois tentés de boire ce liquide. Dans les collections d'anatomie c'est simplement dégoûtant, mais supposez des fruits vénéneux, comme ceux de Strychnos ou de Tanghinia, à côté de noix muscades ou de goyaves, les conséquences pourraient être déplorables.

Le borax a l'inconvénient, comme l'alcool, de dissoudre un grand nombre des matières colorantes contenues dans les végétaux[1]. Par tous ces motifs, il y aurait de l'intérêt à constater dans quels cas et comment l'eau salée peut remplacer ces deux liquides employés jusqu'à présent.

[1] Voir Schnetzler, *Archives des sc. phys. et nat.*, 1877, vol. LX, p. 388 et 1878, vol. LXIII, p. 230.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

ASTRONOMIE.

CH. DUFOUR. — SUR UNE NOUVELLE FORMULE TRIGONOMÉTRIQUE.

Le théorème suivant permet de calculer promptement la hauteur d'un triangle quand on connaît la base et les deux angles qui la comprennent.

En effet, soit b cette base, A et C les deux angles adjacents, a et c les côtés latéraux, on a

$$c = \frac{b \sin C}{\sin B}$$

et en désignant la hauteur par h: $h = c \sin A$

ou $h = \dfrac{b \sin C \sin A}{\sin B}$ mais $B = 180° - (A + C)$.

Donc $\sin B = \sin (A + C) = \sin A \cos C + \sin C \cos A$.

Donc $h = \dfrac{b \sin C \sin A}{\sin A \cos C + \sin C \cos A}$

ou en divisant numérateur et dénominateur par sin A sin C

$$h = \frac{b}{\text{cotang } A + \text{cotang } C}$$

Quand on connaît la hauteur, on peut calculer avec facilité les deux segments x et y de la base au moyen des relations

$$x = \frac{h}{\text{tang } A} \quad \text{et} \quad y = \frac{h}{\text{tang } C}$$

et comme vérification, on doit avoir

$$x + y = b,$$

Vérification excellente, puisqu'elle révélerait une faute qui se serait glissée dans une partie quelconque du calcul.

J'ai employé avec un grand avantage cette formule pour faire la carte du glacier du Rhône, en utilisant la base que nous avions déterminée, M. le professeur F.-A. Forel et moi, en 1870.

PHYSIQUE.

Dr Schneebeli. — Expériences avec le phonautographe (présenté à la Société des sciences naturelles de Neuchâtel le 25 avril 1878).

Le *téléphone*, et plus encore le *phonographe* et le *microphone*, ont ouvert une voie nouvelle et inattendue aux investigations de la physique.

La possibilité de la transmission de vibrations très petites par le courant électrique est démontrée d'une manière évidente. — La parole prononcée, écrite automatiquement, et reproduite mécaniquement, est devenue une réalité.

Après ces belles inventions, il était naturel que l'étude des vibrations produites par les sons de la voix humaine, prît un essor nouveau.

Au moyen d'un petit appareil, fourni par M. le Dr Hipp, je suis parvenu à résoudre, ce me semble, quelques questions présentant un certain intérêt dans ce domaine.

Sur une petite embouchure est tendue une membrane en parchemin qui, sous l'influence de la voix, fait des vibrations correspondant aux mouvements de l'air. Au milieu de la membrane est fixé un petit style en acier recourbé à angle droit à son extrémité, et terminé en une pointe très fine.

Le style appuie légèrement contre la surface d'une plaque faiblement noircie sur la flamme d'une chandelle.

Le style a été choisi en acier pour écarter toute vibration qui aurait pu influer la forme de la courbe sur l'enregistreur.

Pour l'enregistrement, le concours de deux personnes est nécessaire.

L'une prononce distinctement et à haute voix, dans l'embouchure, le son qu'on veut inscrire, tandis que l'autre fait passer régulièrement et assez rapidement devant le style la lame de verre fixée sur un chariot. La pointe inscrit alors dans le noir de fumée les vibrations de la membrane.

Les courbes que j'ai obtenues de cette manière n'ont pas, en général, une amplitude très grande; cependant on peut les voir a l'œil nu et, jusqu'à un certain point, en distinguer les détails. Avec une loupe, ou sous le microscope, on y remarque une grande netteté dans le dessin, lorsque la couche de noir de fumée est assez mince.

J'ai fait photographier et lithographier, en les agrandissant, quelques-unes des courbes représentant les différentes voyelles.

Cependant, l'appareil enregistreur, perfectionné par M. Hipp, m'a permis de reprendre ces recherches d'une manière plus simple et plus concluante. La disposition employée est indiquée dans la figure 1.

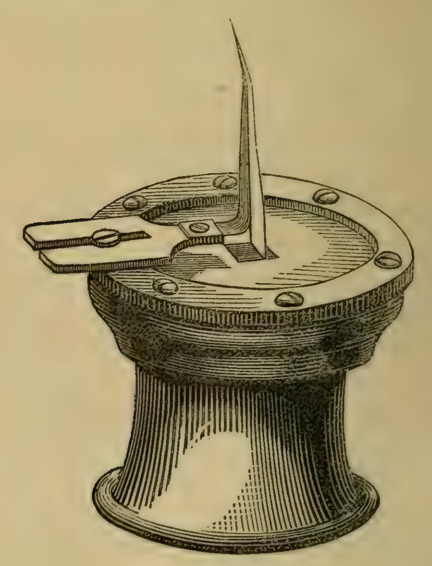


Fig. 1.

Le style est formé d'une lame mince d'acier, repliée à angle droit dans le sens de sa longueur, de manière à ne pouvoir faire aucune vibration propre.

Au cinquième environ de sa longueur, il est fixé dans une pince par une petite lame latérale, de sorte que son extrémité, un peu recourbée, fait des vibrations dont l'amplitude est environ 5 fois plus grande que celle des mouvements du point de la membrane où il est attaché (tympan, osselets). La pointe se meut alors parallèlement à la membrane, et marque son passage sur le cylindre phonautographique que l'on emploie pour faire écrire les diapasons.

Les courbes ont en moyenne une amplitude de 2 mm.; cependant elles montent quelquefois jusqu'à 10 mm.

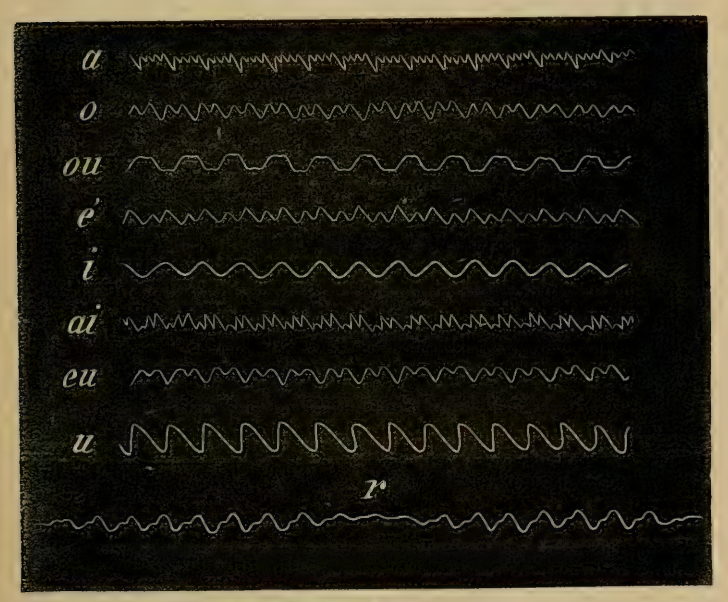


Fig. 2.

La figure 2 indique la forme des courbes données par les voyelles, telles que je les ai toujours obtenues par différentes dispositions, en changeant soit la membrane, soit le style.

L'appareil est très sensible, et accuse les moindres changements du timbre.

Les courbes montrent une grande ressemblance avec les images des flammes manométriques, dans le miroir tournant.

Le	*a*	correspond	à la	prononciation de	*quart.*
»	*o*	»	»	» »	*beau.*
»	*ai*	»	»	» »	*trait.*
»	*œ*	»	»	» »	*heureux.*

Le *r* a été prononcé sans voyelle.

Le changement des phases qu'on remarque quelquefois dans les courbes, sans que pour cela le timbre soit changé en rien, confirme la théorie de Helmholtz. Le changement dans la forme de la courbe n'est cependant pas assez grand pour la défigurer entièrement, et même un œil non exercé reconnaît bientôt par quelle voyelle la courbe a été produite, en comparant celle-ci à d'autres exemplaires.

La netteté des courbes, et la perfection de leur dessin, offrira en outre l'avantage de montrer plus exactement la qualité des harmoniques qui produisent le timbre.

Je me réserve d'y revenir plus tard, et de m'étendre sur quelques applications qu'on essaie à cet instant même.

CH. DUFOUR. — SUR UN PHÉNOMÈNE ACOUSTIQUE QUE PRÉSENTE L'ÉGLISE DE BEX (*Bull. Soc. vaud. Sc. nat.*, XV, 79).

Pendant la session de la Société helvétique des sciences naturelles à Bex en 1877, M. Dufour a eu l'occasion d'observer un fait remarquable de réflexion du son que présente l'église de cette localité, dans laquelle ont eu lieu les assemblées générales de la session.

L'intérieur du bâtiment a la forme d'un rectangle dont l'un des petits côtés est remplacé par une partie arrondie. La chaire est à peu près au milieu de l'un des grands côtés du rectangle. Les personnes placées en face de la chaire entendaient fort mal un orateur placé au pied de celle-ci un

peu à droite. Mais un auditeur se tenant à 2 ou 3 mètres du milieu de la partie arrondie, du côté de la porte, entendait au contraire avec une remarquable netteté les moindres paroles prononcées au pied de la chaire. Réciproquement des paroles dites à voix très basse près du point milieu de l'hémicycle étaient parfaitement entendues à la place occupée par l'orateur, au point que celui-ci en était incommodé. On a donc à faire là à un système presque parfait de foyers acoustiques conjugués.

Dans les ouvrages de physique, on cite une partie de la coupole de l'église de St-Paul, à Londres, et une des salles du Conservatoire des arts et métiers à Paris, où les surfaces sont tellement disposées, que pour certains points déterminés elles réfléchissent les ondes sonores d'une manière étonnante. Ce qui se passe dans l'église de Bex est encore plus remarquable. Certainement cette église peut être citée comme une des localités du monde qui présente au plus haut degré la concentration des ondes sonores en un point déterminé.

H.-W. VOGEL. — UNTERSUCHUNGEN ÜBER ABSORPTIONSPECTRA. RECHERCHES SUR LES SPECTRES D'ABSORPTION (*Monatsberichte der kön. Akad. der Wissensch. zu Berlin*, 20 mai 1878).

Nous avons rendu compte, dans notre dernier numéro, d'un travail de M. Kundt sur les variations que le spectre d'absorption des substances en dissolution subissent avec la nature du dissolvant. Pour compléter ce qui a trait à ce sujet nous donnerons ici les résultats auxquels arrive à son tour M. H.-W. Vogel dans un travail récent qu'il a étendu à un beaucoup plus grand nombre de substances colorantes. Nous traduisons ici les conclusions de ce travail :

1. Il existe généralement des différences très notables entre les spectres qu'un même corps donne à l'état solide, liquide (ou dissous) et gazeux. Des raies caractéristiques d'un corps sous un certain état ne se retrouvent parfois plus dans

le spectre de ce même corps sous un autre état[1], ou s'y retrouvent, mais à une place différente et avec une tout autre intensité[2]. Le sulfate de cuivre et la chlorophylle donnent en revanche le même spectre à l'état solide et à l'état liquide.

2. Parfois les spectres d'absorption qu'un même corps donne dans différents dissolvants sont identiques[3], parfois ils diffèrent seulement par la position des bandes[4], parfois enfin ils présentent un caractère tout différent, ne présentant aucune corrélation entre eux[5].

3. Dans beaucoup de cas la loi que M. Kundt avait tout d'abord cru pouvoir établir et en vertu de laquelle une bande d'absorption d'une substance dissoute est d'autant plus rapprochée du rouge que le pouvoir dispersif du liquide dissolvant est plus fort pour la région qui occupe cette bande, ne se vérifie pas; dans certains cas même l'effet du liquide le plus dispersif est de pousser les bandes vers le bleu[6] ou bien encore la position des bandes demeure invariable dans des liquides de pouvoirs dispersifs différents[7]. Suivant la nature de la substance colorante, on peut observer dans la même région spectrale tantôt un déplacement très marqué dans le sens de la loi de M. Kundt, tantôt un déplacement très faible. Enfin dans les spectres d'une même substance certaines raies pourront se déplacer avec le dissolvant, tandis que d'autres restent fixes dans les divers dissolvants[8].

[1] Exemples : Alun de chrome, chlorure de cobalt, iode, brome, fuchsine, rouge de naphtaline, indigo, cyanine, bleu d'aniline, violet de méthyle, éosine, carmin, purpurine, alizarine, santaline.

[2] Ex.: Nitrate d'urane, permanganate de potasse, acide hypoazotique, rouge d'Alcanna.

[3] Ex.: Purpurine dans l'alcool et le sulfure de carbone, vert d'aldéhyne dans l'eau et l'alcool, etc.

[4] Ex.: Fuchsine, coralline, éosine, etc., dans l'eau et l'alcool.

[5] Ex.: Iode dans le sulfure de carbone et l'alcool, rouge de naphtaline, bleu d'aniline, etc. dans l'eau et l'alcool.

[6] Ex.: Nitrate d'urane dans l'eau et l'alcool.

[7] Ex.: Acide hypoazotique dans l'air et la benzine, vert d'aldéhyde dans l'eau et l'alcool, etc.

[8] Même sous la forme qu'il lui a donnée en dernier lieu, la loi

4. La position des bandes d'absorption dans les spectres des corps solides et liquides ne peut être prise qu'exceptionnellement comme caractère distinctif de ce corps. Des corps entièrement différents présentent des bandes d'absorption de position absolument identique[1], tandis que des substances très voisines montrent dans les mêmes conditions des différences très notables quant à la position de leurs bandes.

5. Pour les spectres d'absorption, la règle que chaque corps a son spectre propre ne peut être admise qu'avec beaucoup de réserve.

La plus grande partie des substances polychroïques présentent des couleurs et des spectres différents suivant la direction sous laquelle on les observe. La plupart des autres corps possèdent à l'état solide des spectres différents de ceux qu'ils donnent à l'état liquide ; en dissolution ces derniers diffèrent eux-mêmes entre eux suivant la nature du dissolvant. Lequel donc de ces divers spectres doit être considéré comme le spectre *propre* du corps ?

Le caractère essentiel des spectres des corps simples en vapeur incandescente : la position des lignes spectrales cesse d'être un trait distinctif pour les spectres d'absorption des corps solides ou liquides. . . . .

C'est à l'état gazeux qu'un corps présentera le spectre le plus pur. Dans cet état d'agrégation les vibrations des molécules ne sont pas gênées par la cohésion, comme dans l'état liquide et à un plus haut degré encore dans l'état solide. C'est donc à l'état solide que doivent correspondre les spectres les moins caractéristiques, et c'est en effet le cas pour la majeure partie des corps. Toutefois il y a des corps qui présentent à l'état solide un spectre plus riche et plus caractéristique qu'à l'état de dissolution, ainsi les sels d'urane qui, à

de M. Kundt ne se vérifie pas d'une manière générale avec toutes les substances.

[1] Ex.: Nitrate d'urane solide et permanganate de potasse dans le bleu, rouge de naphtaline et coralline dans le jaune, bleu d'aniline et cyanine dans l'orangé, etc.

l'état solide, présentent chacun un spectre particulier, tandis que leurs spectres à l'état liquide présentent plusieurs coïncidences, de même les sels de dydime, d'après MM. Bahr et Bunsen.

Suivant ce qui précède, l'analyse spectrale par absorption doit se baser moins sur la position des bandes d'absorption d'un corps que sur la série des transformations que subissent les spectres de ce corps sous l'action de différents dissolvants ou réactifs. Ainsi la cyanine et le bleu d'aniline dissous dans l'alcool donnent des spectres très semblables; dissous dans l'eau, ils donnent des spectres totalement différents. Les bandes de l'oxyhémoglobine disparaissent par les agents réducteurs, tandis que les bandes du carmin subsistent; la bande de la brasiline s'efface sous l'action de l'acide acétique, non celle de la fuchsine. Les raies caractéristiques bien connues de l'alizarine n'apparaissent que dans la dissolution alcoolique traitée par la potasse, etc.

La position des raies est un critère plus caractéristique de la présence d'un corps lorsque celui-ci présente plusieurs bandes d'absorption. Mais on va trop loin dans cette voie quand on conclut de la coïncidence fortuite des bandes de deux corps différents à une analogie ou même une identité de leur composition chimique, comme on l'a fait par exemple pour le sang ou pour la chlorophylle. Ce n'est que lorsque ces raies présentent la même intensité relative et subissent les mêmes transformations sous l'influence des réactifs qu'on est fondé à admettre une parenté ou une analogie entre deux corps considérés.

BOTANIQUE.

Gray (Asa). Synoptical flora of North America, in-8°, vol. II, part. 1, New-York, 1878.

Il est rare qu'un auteur, après avoir publié, dans sa jeunesse, un ouvrage important, puisse le reprendre sous une meilleure forme et le compléter trente-cinq ans plus tard.

M. Asa Gray en est un exemple. *La Flore des États-Unis*, dans laquelle il avait été le collaborateur de Torrey, s'était arrêtée brusquement à la page 504 du volume II et comprenait la moitié des familles de Dicotylédones, des Renonculacées aux Composées dans l'ordre du Prodromus. La rédaction en était développée et remarquable pour l'époque, mais on a découvert depuis un grand nombre d'espèces dans ces mêmes familles, grâce à l'adjonction et à l'exploration de nouveaux territoires, comme la Californie, le Nouveau-Mexique et le Texas. Quelques flores commencées ou achevées suppléaient un peu à la flore générale, mais c'était d'une manière partielle, irrégulière, peu commode pour l'usage des botanistes. M. Asa Gray publie maintenant une première partie d'une flore des États-Unis et du Canada sous une forme condensée, très claire et tout à fait au niveau des connaissances. Il a eu l'idée excellente de commencer par les familles qui ne sont pas dans l'ouvrage primitif. Le demi-volume actuel comprend ce qui suit les Composées jusqu'à la fin des Gamopétales ; après quoi viendront les dernières familles de Dicotylédones, les Monocotylédones et les Cryptogames vasculaires. L'auteur donnera dans un volume 1er, qui paraîtra le dernier, une revue complète, sous la même forme, des familles traitées dans la flore ancienne de Torrey et lui. On aura ainsi, dans l'espace d'environ 1200 pages, un ensemble de toute la végétation américaine au nord du Mexique, à l'exception des Cryptogames proprement dites.

Dans la partie qui vient de paraître nous remarquons l'abondance des découvertes faites depuis quelques années, par exemple en fait de Lobéliacées, Campanulacées, Asclépiadées, Polémoniacées, Hydrophyllacées et Scrophulariacées. La synonymie est suffisante pour un abrégé. D'ailleurs on la trouvera fort en détail dans l'*Index* de M. Sereno Watson[1], rédigé à l'Université d'Harvard, à côté de M. Asa

[1] S. Watson, *Bibliographical index to North american botany*. In-8°, part. 1, Polypetalæ. Washington, 1878.

Gray, sur les mêmes principes. La classification des espèces dans les genres est faite par M. A. Gray avec beaucoup de soin. Il donne de nombreux groupes, subordonnés clairement, et motivés par des caractères assez nombreux pour qu'on ait la preuve que ce sont bien des groupes naturels, non des coupures artificielles. De ce classement attentif des espèces il est résulté une abréviation des caractères de chacune, sans qu'on ait des omissions à regretter. Sur ce point, comme dans certains détails de rédaction, même de ponctuation, l'ouvrage mérite d'être étudié, car tout y est réfléchi et les innovations y sont toujours en vue de la plus grande clarté. C'est un vrai type de flore, que toutes les bibliothèques devront avoir pour sa valeur intrinsèque et comme modèle.

NYMAN (C.-F). — CONSPECTUS FLORÆ EUROPEÆ. In-8°, part. 1, Orebro, Sueciæ, 1878.

L'auteur de l'excellent *Sylloge floræ europeæ*, publié en 1854, commence une publication analogue, assez modifiée et perfectionnée pour qu'il n'ait pas voulu l'intituler une seconde édition. Le premier fascicule comprend les familles des Renonculacées aux Rosacées dans l'ordre du Prodromus. Quand ce catalogue des plantes d'Europe sera achevé, on pourra le comparer, de point en point, et sous le rapport des nombres, avec la flore abrégée de l'Amérique septentrionale dont nous venons de parler. L'ordre est le même. Les genres et espèces y sont compris à peu près dans le même sens. Enfin le même scrupule a présidé au choix des noms et à l'indication des localités. L'auteur américain donne des descriptions; M. Nyman ne le fait pas et il a raison, car les espèces américaines sont en partie nouvelles et peu connues, tandis que les européennes se trouvent décrites et souvent figurées dans un grand nombre d'ouvrages. L'essentiel est de savoir — ce que nous pouvons certifier — que M. Nyman a consulté, depuis vingt ans, une foule d'herbiers contenant des échantillons authentiques et n'a rien négligé pour s'assurer des pays dans lesquels on a trouvé chaque espèce.

Alph. DE C.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

sous la direction de

M. le prof. E. PLANTAMOUR

PENDANT LE MOIS DE SEPTEMBRE 1878.

Le 1er, rosée le matin.
2, rosée le matin ; assez forte bise depuis midi.
3, forte bise jusqu'au soir.
4, rosée le matin.
5, forte rosée le matin avec un très faible brouillard.
6 et 7, forte rosée le matin.
8, rosée le matin, faible averse à 6 h. soir.
10, rosée le matin ; forte bise de 9 h. matin à 9 h. soir.
12, forte rosée le matin, léger brouillard à 8 h.
13, rosée le matin.
15, id.
18, id.
21, pluie dans la nuit ; forte bise depuis 4 h. après midi jusqu'au lendemain à la même heure.
24, forte bise dans la soirée.
27, forte rosée le matin.
28, id.
29, rosée le matin.
30, forte rosée le matin.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM.

	mm
Le 3 à 8 h. matin	732,05
11 à 10 h. soir	731,46
17 à 10 h. matin	732,33
19 à 10 h. matin..........	728,21
21 à midi	728,53
28 à 10 h. matin	730,40

MINIMUM.

	mm
Le 8 à 4 h. après midi... .	725,69
13 à 4 h. après midi......	725,45
18 à 4 h. après midi......	725,17
20 à 4 h. après midi......	725,28
24 à 4 h. après midi	717,91
30 à 2 h. après midi......	726,25

Jours du mois.	Baromètre. Hauteur moy. des 24 h.	Baromètre. Écart avec la hauteur normale	Température C. Moyenne des 24 heures	Température C. Écart avec la temp. normale	Température C. Minim.	Température C. Maxim.	Tension de la vap. Moy. des 24 h.	Tension de la vap. Écart avec la tension normale.	Fract. de saturation en millièmes Moy. des 24 h.	Fract. de saturation Écart avec la fraction norm.	Fract. de saturation Minim.	Fract. de saturation Maxim.	Pluie ou neige Eau tomb. d. les 24 h.	Pluie ou neige Numb. d'h.	Vent dominant.	Clarté moy. du Ciel.	Temp. du Rhône Midi.	Temp. du Rhône Écart avec la temp. normale.	Limnimètre à 11 h.
	millim.	millim.	0	0	0	0	millim.	millim.					mm.				0	0	cm
1	729,91	+ 2,15	+16,62	+ 0,03	+12,3	+21,7	9,04	—1,29	676	— 65	410	912	...	...	SO. 1	0,33	...	.....	238,0
2	730,98	+ 3,24	+15,25	— 1,23	+ 9,4	+19,8	8,69	—1,60	705	— 39	490	970	...	...	NE. 2	0,31	17,8	— 0,4	236,9
3	730,93	+ 3,21	+16,40	+ 0,03	+13,3	+20,0	9,83	—0,42	728	— 19	590	830	...	...	NNE. 2	0,27	17,7	— 0,5	237,1
4	730,25	+ 2,55	+15,47	— 0,78	+12,2	+19,2	10,70	+0,49	829	+ 80	650	960	...	...	NE. 1	0,62	18,3	+ 0,2	233,8
5	730,59	+ 2,91	+16,52	+ 0,39	+10,4	+24,0	12,04	+1,87	847	+ 95	670	930	...	...	N. 1	0,23	18,4	+ 0,4	230,0
6	730,26	+ 2,61	+18,56	+ 2,54	+10,9	+25,4	11,68	+1,55	740	— 14	490	960	...	...	NNE. 1	0,05	17,7	— 0,3	226,9
7	728,48	+ 0,85	+19,17	+ 3,28	+13,4	+24,8	12,88	+2,80	791	+ 34	500	950	...	...	variable	0,16	18,8	+ 0,9	226,1
8	726,68	— 0,92	+20,05	+ 4,28	+15,7	+24,2	13,60	+3,56	790	+ 31	640	950	...	...	NE. 1	0,32	...	.....	223,0
9	727,35	— 0,23	+18,79	+ 3,15	+15,1	+25,6	11,71	+1,71	756	— 6	500	910	0,3	1	SO. 1	0,43	19,0	+ 1,2	221,0
10	728,71	+ 1,16	+17,03	+ 1,51	+11,6	+21,7	10,21	+0,26	717	— 47	500	880	...	...	NNE. 2	0,28	19,5	+ 1,8	219,9
11	730,36	+ 2,84	+17,62	+ 2,23	+15,9	+21,0	11,63	+1,73	799	+ 32	650	860	...	...	N. 1	0,42	19,0	+ 1,4	219,1
12	729,30	+ 1,81	+17,81	+ 2,56	+12,5	+25,1	12,43	+2,58	827	+ 58	560	960	...	...	N. 1	0,30	19,0	+ 1,5	214,5
13	725,84	— 1,62	+17,68	+ 2,56	+14,2	+22,2	11,18	+1,38	763	— 9	560	980	...	...	S. 1	0,76	18,9	+ 1,4	214,3
14	726,15	— 1,28	+12,92	— 2,06	+ 9,3	+19,6	8,37	—1,38	777	+ 3	540	900	...	...	variable	0,48	18,7	+ 1,3	211,7
15	726,57	— 0,83	+14,20	— 0,65	+ 9,3	+19,5	9,45	—0,25	797	+ 21	580	920	...	...	variable	0,33	...	.....	210,0
16	728,88	+ 1,51	+15,50	+ 0,79	+ 9,9	+20,9	9,74	+0,09	752	— 27	590	870	...	...	SSO. 1	0,85	18,7	+ 1,5	205,7
17	731,62	+ 4,28	+14,15	— 0,41	+10,0	+19,0	8,61	—0,98	742	— 39	530	940	...	...	N. 1	0,14	17,8	+ 0,7	201,5
18	727,01	— 0,30	+16,68	+ 2,26	+ 7,8	+24,3	9,12	—0,41	664	—119	410	940	...	...	S. 1	0,16	18,5	+ 1,5	200,5
19	727,61	+ 0,34	+16,63	+ 2,35	+12,1	+21,8	9,47	—0,01	703	— 82	530	820	...	...	SSO. 1	0,44	17,9	+ 1,0	194,5
20	726,07	— 1,17	+13,64	— 0,49	+ 9,3	+19,1	7,75	—1,67	697	— 90	460	870	...	...	SO. 1	0,42	16,1	— 0,7	193,5
21	728,04	+ 0,83	+10,35	— 3,63	+ 8,7	+14,0	7,63	—1,73	844	+ 54	660	980	5,2	4	NE. 2	0,89	15,7	— 1,0	193,3
22	725,94	— 1,24	+11,46	— 2,37	+ 8,8	+15,2	7,49	—1,81	777	— 15	590	930	...	...	NNE. 2	0,47	...	.....	194,0
23	720,43	— 6,71	+11,73	— 1,95	+ 7,8	+15,0	8,71	—0,53	852	+ 58	600	920	2,3	4	variable	0,98	16,8	+ 0,3	185,0
24	718,12	— 8,99	+11,39	— 2,13	+10,1	+15,2	7,28	—1,90	762	— 33	470	860	3,6	5	NNE. 2	0,91	15,8	— 0,6	183,0
25	720,27	— 6,80	+ 9,16	— 4,21	+ 7,5	+12,0	7,41	—1,70	884	+ 87	670	1000	10,0	9	NE. 1	1,00	15,8	— 0,5	181,0
26	725,10	— 1,94	+11,57	— 1,64	+ 6,9	+16,6	6,84	—2,21	710	— 89	340	980	...	...	variable	0,12	16,1	— 0,1	178,7
27	728,43	+ 1,43	+11,83	— 1,22	+ 5,6	+17,2	8,36	—0,62	812	+ 11	620	980	...	...	variable	0,18	16,1	0,0	175,0
28	729,49	+ 2,52	+11,90	— 0,99	+ 6,1	+17,9	8,33	—0,59	809	+ 6	580	980	...	...	N. 1	0,14	16,2	+ 0,2	170,5
29	727,97	+ 1,04	+11,70	— 1,03	+ 5,9	+17,2	8,95	+0,10	870	+ 66	630	990	...	...	N. 1	0,03	...	.....	167,8
30	727,06	+ 0,16	+16,45	+ 3,88	+ 7,8	+24,4	8,75	—0,03	656	—150	360	940	...	...	SSO. 1	0,30	16,3	+ 0,5	163,8

MOYENNES DU MOIS DE SEPTEMBRE 1878.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
Baromètre.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	729,76	729,98	729,98	729,54	729,14	728,80	728,83	729,37	729,67
2e »	728,16	728,44	728,52	728,11	727,60	727,34	727,55	728,04	728,12
3e »	725,13	725,41	725,57	725,30	724,82	724,68	724,83	725,26	725,25
Mois	727,68	727,94	728,02	727,65	727,19	726,94	727,07	727,56	727,68
Température.									
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	+13,31	+16,79	+18,97	+20,73	+21,22	+21,37	+19,97	+18,03	+16,36
2e »	+12,02	+15,16	+17,55	+18,98	+19,97	+19,72	+17,62	+15,90	+14,05
3e »	+ 8,08	+11,03	+13,08	+14,94	+15,67	+15,11	+13,97	+12,18	+11,34
Mois	+11,14	+14,33	+16,53	+18,22	+18,95	+18,73	+17,19	+15,37	+13,92
Tension de la vapeur.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	10,56	11,46	11,22	11,15	11,17	11,10	11,23	11,62	11,56
2e »	9,49	10,24	10,19	9,91	8,82	10,33	9,90	10,06	9,77
3e »	7,34	8,13	8,15	7,92	7,74	8,64	8,67	8,66	8,25
Mois	9,13	9,94	9,85	9,66	9,57	10,03	9,93	10,12	9,86
Fraction de saturation en millièmes.									
1re décade	919	800	681	622	591	592	640	733	829
2e »	900	791	678	599	570	604	660	742	811
3e »	920	835	729	633	588	682	727	818	832
Mois	913	809	696	618	583	626	676	764	824

	Therm. min.	Therm. max.	Clarté moy. du Ciel.	Température du Rhône.	Eau de pluie ou de neige.	Limnimètre.
	0	0		0	mm	cm
1re décade	+12,43	+22,64	0,30	+18,40	0,3	229,3
2e »	+11,03	+21,25	0,43	+18,29	—	206,5
3e »	+ 7,52	+16,47	0,50	+16,10	21,1	179,2
Mois	+10,33	+20,12	0,41	+17,62	21,4	205,0

Dans ce mois, l'air a été calme 1,1 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 1,60 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 8°,9 E., et son intensité est égale à 22,9 sur 100.

TABLEAU

DES

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU GRAND SAINT-BERNARD

pendant

LE MOIS DE SEPTEMBRE 1878.

Le 1er, brouillard depuis 1 h. après midi.
2, brouillard intense tout le jour.
9, brouillard tout le jour.
10, brouillard le matin et le soir.
12, brouillard le soir.
13, brouillard et bruine le soir.
14, brouillard tout le jour; quelques flocons de neige.
16, brouillard le soir.
19, léger brouillard dans la soirée.
20, brouillard le matin.
21, brouillard tout le jour; neige de 8 h. matin à midi.
23, brouillard l'après midi; quelques flocons de neige.
24, brouillard et neige tout le jour.
25, neige le matin; brouillard et forte bise tout le jour.
26, brouillard jusqu'au soir, par une forte bise.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM	mm	MINIMUM.	mm
Le 5 à 10 h. soir	573,23	Le 9 à 10 h. soir	567,72
11 à 10 h. soir	572,87	14 à 4 h. après midi	564,15
17 à midi	570,90	25 à 6 h. matin	555,33
28 à 10 h. soir	569,15		

Jours du mois.	Baromètre.				Température C.				Pluie ou neige.			Vent dominant.	Clarté moyenne du Ciel.
	Hauteur moy. des 24 heures.	Écart avec la hauteur normale.	Minimum.	Maximum.	Moyenne des 24 heures.	Écart avec la température normale.	Minimum*	Maximum*	Hauteur de la neige.	Eau tombée dans les 24 h.	Nombre d'heures.		
	millim.	millim.	millim.	millim.	°	°	°	°	millim.	millim.			
1	568,91	+ 0,76	568,45	569,28	+ 3,28	— 1,80	+ 1,8	+ 5,8	.....	.....	....	NE. 1	0,60
2	569,19	+ 1,09	568,47	569,93	+ 1,31	— 3,68	+ 0,8	+ 3,8	.....	.....	....	NE. 1	0,98
3	570,70	+ 2,66	570,37	571,32	+ 7,01	+ 2,11	+ 1,1	+11,7	.....	.....	....	NE. 1	0,00
4	572,08	+ 4,10	571,18	572,73	+ 9,19	+ 4,38	+ 6,1	+14,0	.....	.....	....	SO. 1	0,13
5	572,92	+ 5,00	572,52	573,23	+10,00	+ 5,28	+ 2,6	+13,2	.....	.....	....	NE. 1	0,31
6	572,22	+ 4,36	572,01	572,59	+ 9,71	+ 5,09	+ 7,7	+12,3	.....	.....	....	NE. 1	0,00
7	571,02	+ 3,23	570,86	571,45	+ 9,91	+ 5,39	+ 8,0	+12,4	.....	.....	....	variable	0,16
8	569,89	+ 2,17	569,65	570,39	+10,09	+ 5,67	+ 9,4	+13,1	.....	.....	....	NE. 1	0,21
9	568,32	+ 0,67	567,72	569,40	+ 5,27	+ 0,95	+ 2,5	+ 8,6	.....	8,4	....	NE. 1	0,94
10	569,04	+ 1,46	567,90	570,55	+ 4,42	+ 0,21	+ 1,4	+ 6,9	.....	.....	....	NE. 1	0,42
11	572,01	+ 4,50	571,00	572,87	+ 8,62	+ 4,52	+ 6,3	+12,1	.....	.....	....	SO. 1	0,20
12	571,02	+ 3,58	569,91	572,21	+ 8,08	+ 4,09	+ 5,7	+12,0	.....	.....	....	NE. 1	0,38
13	567,33	— 0,04	566,37	568,47	+ 6,75	+ 2,87	+ 6,2	+ 8,3	.....	.....	....	SO. 1	0,83
14	564,60	— 2,70	564,16	565,48	+ 0,87	— 2,89	+ 0,2	+ 3,2	.....	.....	....	NE. 1	0,97
15	566,44	— 0,78	565,20	567,97	+ 5,77	+ 2,13	+ 0,5	+ 9,7	.....	.....	....	NE. 1	0,05
16	568,65	+ 1,51	568,01	569,19	+ 5,31	+ 1,79	+ 2,6	+ 8,2	.....	.....	....	NE. 1	0,62
17	570,52	+ 3,46	569,85	570,90	+ 5,63	+ 2,23	+ 1,0	+ 7,8	.....	.....	....	NE. 1	0,33
18	568,76	+ 1,78	568,21	569,51	+ 7,97	+ 4,70	+ 6,2	+10,6	.....	.....	....	SO. 1	0,09
19	567,83	+ 0,93	567,65	568,18	+ 5,80	+ 2,65	+ 4,7	+ 7,4	.....	.....	....	NE. 1	0,39
20	565,58	— 1,24	565,16	566,71	+ 4,84	+ 1,82	+ 0,4	+ 8,4	....	.....	....	SO. 1	0,73
21	563,53	— 3,21	563,14	564,03	+ 2,11	— 0,78	+ 1,2	+ 3,4	20	2,0	....	NE. 2	1,00
22	564,07	— 2,58	563,96	564,15	+ 3,11	+ 0,35	+ 1,0	+ 7,2	.....	.....	....	NE. 1	0,06
23	561,68	— 4,88	560,35	562,63	+ 1,30	— 1,33	+ 0,3	+ 3,8	.....	.....	....	SO. 2	0,92
24	557,57	— 8,91	557,22	558,03	+ 0,58	— 1,92	+ 0,1	+ 2,8	270	45,4	....	variable	1,00
25	558,07	— 8,33	555,33	560,08	+ 2,18	— 0,18	+ 1,8	+ 4,0	120	13,0	....	NE. 2	1,00
26	563,31	— 3,00	561,20	565,35	+ 0,42	— 1,80	+ 0,1	+ 2,8	.....	.....	....	NE. 2	0,78
27	567,19	+ 0,97	566,12	568,26	+ 1,64	— 0,44	+ 1,3	+ 3,0	.....	.....	....	NE. 1	0,17
28	568,75	+ 2,62	568,40	569,15	+ 4,62	+ 2,68	+ 3,3	+ 6,8	.....	.....	....	NE. 1	0,09
29	568,90	+ 2,86	568,77	569,03	+ 6,47	+ 4,67	+ 3,3	+10,1	.....	.....	....	variable	0,08
30	568,51	+ 2,56	568,30	568,85	+ 6,12	+ 4,46	+ 3,9	+ 9,5	.....	.....	....	SO. 1	0,14

* Ces colonnes renferment la plus basse et la plus élevée des températures observées de 6 h. matin à 10 h. soir.

MOYENNES DU MOIS DE SEPTEMBRE 1878.

Baromètre.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	570,26	570,31	570,48	570,45	570,51	570,42	570,56	570,65	570,76
2e »	568,41	568,48	568,54	568,46	568,25	568,14	568,18	568,26	568,30
3e »	563,66	563,88	564,14	564,22	564,23	564,22	564,50	564,53	564,60
Mois	567,44	567,56	567,72	567,71	567,66	567,59	567,75	567,81	567,89

Température.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	+ 4,49	+ 6,56	+ 8,46	+ 9,85	+ 9,87	+ 8,74	+ 7,41	+ 6,67	+ 6,52
2e »	+ 4,47	+ 5,97	+ 7,33	+ 8,35	+ 8,40	+ 7,13	+ 6,38	+ 5,67	+ 5,38
3e »	+ 2,62	+ 3,16	+ 3,29	+ 3,79	+ 4,40	+ 3,91	+ 3,25	+ 3,38	+ 3,30
Mois	+ 3,86	+ 5,23	+ 6,36	+ 7,33	+ 7,56	+ 6,59	+ 5,68	+ 5,24	+ 5,07

	Min. observé.	Max. observé.	Clarté moyenne du ciel.	Eau de pluie ou de neige.	Hauteur de la neige tombée.
	0	0		mm	mm
1re décade	+ 4,07	+ 10,18	0,38	8,4	—
2e »	+ 3,38	+ 8,77	0,46	—	—
3e »	+ 1,63	+ 5,34	0 52	60,4	410
Mois	+ 3,03	+ 8,10	0,45	68,8	410

Dans ce mois, l'air a été calme 1,1 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 2,71 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 45° E., et son intensité est égale à 51,9 sur 100.

SUR L'YTTERBINE

TERRE NOUVELLE CONTENUE DANS LA GADOLINITE

Par M. C. MARIGNAC

A la suite des recherches auxquelles je me suis livré sur les terres de la gadolinite[1], recherches qui avaient pour but et qui ont eu pour résultat de confirmer les observations de M. Delafontaine sur l'existence de la terbine, j'avais obtenu quelques grammes d'une terre présentant tous les caractères qui appartiennent à l'erbine, d'après les travaux classiques de MM. Bahr et Bunsen et de MM. Clève et Hoglund.

Je dois rappeler cependant que le procédé par lequel je l'avais séparée des autres terres de la gadolinite n'est pas absolument identique avec celui qu'avaient employé ces chimistes. Le procédé de Bunsen consiste à chauffer les azotates des terres mélangées, jusqu'au moment où leur décomposition commence à se manifester par le dégagement de vapeurs rutilantes. La matière refroidie est ensuite dissoute dans la plus petite quantité possible d'eau bouillante, et laisse déposer par le refroidissement de petits cristaux aciculaires d'un sous-azotate riche en erbine. Ce traitement, répété un grand nombre de fois, finit par donner l'erbine pure, caractérisée par sa couleur rose et par les bandes d'absorption très nettes que ses dissolutions présentent au spectroscope.

[1] *Archives*, 1878 t. LXI, p. 283.

L'exécution de cette méthode est assez délicate et exige beaucoup de soin pour saisir le moment où l'on doit cesser de chauffer les azotates. J'avais trouvé plus commode de pousser la décomposition plus loin, jusqu'au moment où le sel, d'abord fondu, prend une consistance pâteuse, ou même se solidifie complètement. On reprend ensuite le résidu par l'eau bouillante, la dissolution filtrée est évaporée et soumise de nouveau au même traitement. L'erbine se concentre dans les résidus insolubles, qui seront à leur tour repris par l'acide azotique et traités de la même manière, de telle sorte qu'on finit également par arriver à un produit pur.

Dans mes premières recherches j'avais cessé ce traitement, lorsque j'étais arrivé à une terre de couleur rose pure, et dont l'équivalent[1] compris entre 128 et 129, correspondait à celui qui a été assigné à l'erbine par les savants allemands et suédois qui en ont fait l'étude[2].

Plus récemment, j'ai repris les produits ainsi obtenus et j'ai voulu m'assurer si, en continuant sur eux les mêmes opérations, je n'obtiendrais plus une nouvelle augmentation de l'équivalent. Je dois préciser ici la marche que j'ai suivie.

La terre que je croyais pouvoir considérer comme de l'erbine à peu près pure a été dissoute par l'acide azotique, la solution évaporée, puis mise en fusion et chauffée jusqu'à solidification complète. Traitée après refroidissement par l'eau bouillante, elle fournit un résidu insoluble et une dissolution qui est de nouveau évaporée et soumise

[1] Calculé pour la formule ErO ou plus probablement $Er^{2}/_{3}O$ et pour $O=16$.

[2] 128,6 suivant MM. Bahr et Bunsen, 129,7 d'après MM. Clève et Hoglund.

de la même manière à une décomposition partielle. Ces opérations étant faites dans une capsule tarée, je les cesse lorsque le résidu de l'évaporation à siccité, avant la décomposition par la chaleur, ne présente plus qu'un poids voisin d'un gramme, ce qui, pour la petite quantité de matière sur laquelle j'opérais, arrivait en général après trois ou quatre opérations. Alors, je le redissous dans l'eau bouillante en excès, je précipite par l'acide oxalique et je détermine l'équivalent de cette portion, par la méthode de Bunsen, en convertissant en sulfate la terre calcinée. Tous les résidus insolubles obtenus dans cette série d'opérations sont réunis, redissous par l'acide azotique et soumis à une seconde série d'opérations analogues.

Ce mode de traitement est continué jusqu'à ce que j'aie épuisé la quantité d'erbine qui y a été soumise, et qui se trouve ainsi partagée en un certain nombre de produits successifs dont le dernier représente la portion de cette terre dont l'azotate se décompose le plus facilement par la chaleur.

Ce n'est au fond, sauf une marche plus méthodique, que la continuation du même procédé par lequel j'avais extrait l'erbine du mélange des terres de la gadolinite.

Or, en opérant ainsi j'ai observé un fait qui m'a beaucoup surpris. Tandis que, dans la premiere partie de ces recherches, j'avais vu augmenter graduellement l'équivalent des produits successifs et en même temps se développer l'intensité de leur coloration rose et celle des bandes d'absorption caractéristiques de l'erbine, j'ai vu qu'il arrive un moment où, l'équivalent continuant encore à s'élever lentement, la coloration et les bandes d'absorption diminuent assez rapidement, tellement que le dernier

produit obtenu était parfaitement blanc, ses sels incolores et leurs dissolutions ne donnant plus de raies d'absorption.

Les trois derniers produits obtenus par ce traitement présentaient les équivalents suivants : 130,4, 130,6 et 130,8. Les deux premiers présentaient encore une coloration rose sensible, surtout dans les oxalates et les cristaux de sulfates. On peut admettre approximativement 131 comme la limite qu'atteindrait peut-être cette terre si l'on opérait sur une quantité de matière suffisante pour pousser plus loin encore cette méthode de purification.

Il résulte évidemment de là que la terre que j'avais extraite de la gadolinite et que j'avais considérée comme de l'erbine, n'était encore qu'un mélange de deux terres distinctes. L'une de ces terres, d'un rose pur et présentant des bandes d'absorption très marquées, doit conserver le nom d'erbine, puisque ce sont là les caractères qui ont été considérés comme les plus distinctifs de cette base. L'autre est une base nouvelle appartenant au même groupe et pour laquelle je propose le nom d'ytterbine qui rappellera sa présence dans le minéral d'Ytterby et ses relations avec l'yttria d'un côté par son absence de coloration, avec l'erbine de l'autre par l'élévation de son équivalent.

La très faible quantité de produit à peu près pur, dont j'ai pu disposer ne me permettait point de faire une étude complète de ses propriétés, j'ai dû me borner à l'examen de celles qui établissent le mieux son individualité et particulièrement de celles par lesquelles je pouvais m'assurer de l'absence de la thorine.

En effet, parmi tous les oxydes métalliques dont les propriétés permettraient de supposer la présence dans

les terres de la gadolinite, un seul, la thorine, présente un équivalent plus élevé que celui qui est attribué à l'erbine. C'est par conséquent le seul oxyde connu qui, mélangé avec les autres terres, pourrait donner lieu à l'élévation que j'ai constatée pour cet équivalent. Il paraissait d'ailleurs d'autant plus naturel de supposer sa présence que la thorine accompagne souvent les terres du cérium et de l'yttria, et que j'avais remarqué que les produits obtenus devenaient de moins en moins solubles dans les acides, à mesure que leur équivalent s'élevait et que leur couleur rose s'affaiblissait.

J'ai déjà signalé la couleur parfaitement blanche de l'ytterbine, ses sels sont également incolores, l'azotate n'éprouve aucune coloration en se décomposant par la chaleur.

Les solutions d'ytterbine, examinées au spectroscope, ne présentent aucune raie d'absorption, ni dans le spectre ordinaire, ni dans les rayons ultra-violets, comme M. Soret a eu la complaisance de s'en assurer. Je ne puis en effet considérer comme appartenant à ce corps, deux raies à peine discernables, coïncidant par leur position avec des raies déjà connues ; l'une dans le vert est la raie α la plus forte de l'erbine, l'autre dans le rouge (λ=683,5) a été décrite comme appartenant aussi à l'erbine, mais M. Soret a émis quelques doutes sur ce dernier point[1].

Bien que l'ytterbine ne s'attaque que difficilement et lentement à froid ou à une chaleur modérée par les acides même lorsqu'ils sont assez concentrés, elle se dissout toujours aisément à l'aide de l'ébullition, même en présence des acides étendus ou faibles comme l'acide acétique et l'acide formique.

[1] *Archives*, 1878, t. LXIII, p. 99.

Son sulfate ressemble tout à fait à ceux d'yttria et d'erbine. Il est très probablement isomorphe avec eux, car les dissolutions renfermant à la fois l'erbine et l'ytterbine ne donnent, jusqu'à la fin, qu'une seule sorte de cristaux, offrant toujours la même apparence, leur couleur seule variant suivant que ces solutions renferment plus ou moins d'erbine.

Ce sulfate se redissout facilement, sans résidu, dans une solution saturée de sulfate de potasse. Il ne se forme même pas de précipité par l'ébullition de cette dissolution.

Une solution neutre de chlorure d'ytterbium, si elle n'est pas trop concentrée, n'est pas précipitée par l'ébullition avec l'hyposulfite de soude. Lorsqu'on traite ainsi une dissolution un peu concentrée, renfermant à la fois les chlorures d'erbium et d'ytterbium, on obtient un précipité plus riche en erbium que les bases qui restent en dissolution. Cependant je n'ai pas réussi à utiliser cette réaction pour obtenir une séparation de ces deux terres plus avantageuse que celle qui résulte de la décomposition partielle de leurs azotates.

L'ytterbine, précipitée de ses sels par la potasse caustique, et soumise à un courant de chlore en présence d'un excès de potasse, se redissout complètement. Cette réaction et les deux précédentes prouvent suffisamment l'absence complète de la thorine.

Le formiate d'ytterbine se dissout dans son poids d'eau, au plus. La solution concentrée par la chaleur devient gommeuse, puis vitreuse. Par l'évaporation à froid elle devient sirupeuse, puis se prend en petits mamelons arrondis et cristallins comme les formiates d'yttria et d'erbine. Il se décompose comme eux par la

chaleur, en fondant et se boursouflant beaucoup, et laissant une terre très poreuse et légère.

Il présente d'ailleurs la même composition représentée par la formule $Yb^2 O^3$, $3 C^2 H^2 O^3 + 4 H^2 O$.

		Calculé	Trouvé
$Yb^2 O^3$	393	57,2	57,0
$3 C^2 H^2 O^3$	222	32,3	»
$4 H^2 O$	72	10,5	10,1
	687	100	

Il perd toute son eau de cristallisation à 100 degrés. Il n'est pas déliquescent.

L'existence de cette nouvelle base si semblable à l'erbine et dont il est si difficile de la séparer, peut faire naître beaucoup de doutes sur l'exactitude de l'équivalent attribué jusqu'ici à cette dernière terre. La coloration rose et les raies d'absorption font aisément reconnaître la présence de l'erbine dans l'ytterbine, mais je ne connais aucun moyen de reconnaître la présence de cette dernière dans l'erbine. La méthode que j'ai employée pour séparer ces deux terres, par la décomposition partielle des azotates, est en effet extrêmement laborieuse, imparfaite, et ne peut donner un résultat que lorsqu'on a une suffisante quantité de matière et que la proportion d'ytterbine est assez considérable.

S'il m'était permis de me fier à des observations faites sur de trop petites quantités de matière pour être bien concluantes, je serais porté à croire que l'équivalent de l'erbine est bien inférieur à celui qu'on lui attribue, car j'ai remarqué que les produits successifs obtenus par la décomposition des azotates, présentaient le maximum de coloration rose et d'intensité du spectre d'absorption pour

des équivalents compris entre 122 et 126 environ. Puisque ce ne devaient être que des mélanges d'erbine et d'ytterbine et que l'équivalent de cette dernière atteint 131, cela ferait supposer pour l'erbine un équivalent inférieur à 122. Mais je ne cite ces observations qu'avec beaucoup de réserve, car il m'a semblé que l'intensité de la coloration n'était pas toujours en rapport avec l'équivalent, ce qui pourrait faire supposer que ces produits étaient encore des mélanges plus complexes que je ne le supposais.

D'un autre côté rien ne prouve que la méthode de Bunsen pour la préparation de l'erbine, par la cristallisation du sous-azotate, ait pour effet de laisser avec elle l'ytterbine comme le procédé que j'ai employé reposant sur une décomposition plus avancée des azotates. On ne peut donc point admettre dès à présent que les recherches si détaillées et si consciencieuses des savants allemands et suédois aient été faites sur une erbine impure et mélangée d'ytterbine.

Il y a là une question intéressante à décider par l'expérience, ainsi que toute une étude à faire de la nouvelle base dont je crois avoir démontré l'existence.

Il est si difficile de se procurer des quantités suffisantes de gadolinite, le travail nécessaire pour en retirer l'erbine est si long, et la quantité que l'on en retire est souvent si petite, que je n'ai guère l'espoir de pouvoir moi-même achever ce travail.

Cette publication a donc principalement pour but d'attirer sur ces questions l'attention des chimistes qui pourraient en poursuivre l'étude et particulièrement de ceux qui ont pu préparer des quantités notables d'erbine et qui en posséderaient encore.

Il ne sera peut-être pas inutile de résumer ici les connaissances actuellement acquises sur les diverses terres appartenant au groupe de l'yttria, en les signalant dans l'ordre croissant de leurs équivalents :

1° *Yttria*. Equivalent 75,7 (Clève). Terre blanche, sels incolores, sans spectre d'absorption. C'est la base la plus forte de ce groupe, celle dont l'azotate résiste le plus à la décomposition par la chaleur.

2° *Philippine*, récemment découverte par M. Delafontaine[1]. Équivalant 90 à 95 (Delafontaine). Terre jaune orangée, sels incolores. Les solutions présentent un spectre d'absorption, caractérisé principalement suivant M. Delafontaine par une bande d'absorption très intense dans le bleu indigo[2].

3° *Terbine*. C'est l'erbine de Mosander, dont l'existence a été mise hors de doute par les recherches de M. Delafontaine, confirmées par les miennes. Équivalent 114 à 115. Terre jaune orangée, comme la précédente. Sels incolores. Spectre d'absorption présentant surtout une raie dans le violet extrême, signalée par M. Soret, observée aussi par M. Delafontaine, qui doute cependant qu'elle soit caractéristique du terbium.

4° *Erbine* (Terbine de Mosander). Ses propriétés sont surtout connues par les beaux travaux de MM. Bahr et Bunsen et de MM. Clève et Hoglund. Équivalent admis par ces savants : 128,6 à 129,7. Terre d'un rose pâle. Sels fortement colorés d'un rose pur, non violacé comme ceux de didyme. Spectre d'absorption brillant, offrant un grand nombre de raies.

[1] *Comptes rendus*, 14 octobre 1878.

[2] Nous devons toutefois faire remarquer que cette bande (λ=450 environ) se retrouve dans les spectres de l'erbine et de la terre que M. Soret a désignée par x (Loc. cit. p. 99).

5° *Ytterbine.* Equivalent 131. Terre blanche, sels incolores, sans spectre d'absorption. C'est la plus faible des bases de ce groupe, celle dont l'azotate se décompose le plus facilement par la chaleur.

Toutes les terres de ce groupe se distinguent de celles du groupe du cérium ainsi que de la thorine et de la zircone par la solubilité plus ou moins grande de leurs sulfates dans une solution saturée de sulfate de potasse.

Je ne cite que pour mémoire la *mosandrine* signalée récemment par M. L. Smith[1], comme appartenant au groupe du cérium. Cette terre, d'après les échantillons observés par M. Delafontaine et par moi, et que nous devions à l'obligeance du savant américain, ferait réellement partie du groupe de l'yttria, mais ne nous paraît pas différer de la terbine.

Les cinq terres signalées ci-dessus ne sont très probablement pas les seules qui existent dans ce mélange complexe que l'on désignait jadis sous le nom d'yttria. M. Delafontaine m'écrit qu'il a observé des faits qui en indiqueraient une autre intermédiaire entre l'erbine et la terbine[2]. D'ailleurs M. Soret a signalé, dans plusieurs des produits que je l'avais prié d'examiner au spectroscope, des raies d'absorption qu'il ne peut expliquer qu'en y supposant l'existence d'une terre non encore isolée qu'il a désignée par X[3]. Nous avions supposé que cette

[1] *Comptes rendus*, t. LXXXVII, p. 148. *Archives* 1878, t. LXIII, p. 165.

[2] Pendant l'impression de ces pages, j'ai reçu une lettre de M. Delafontaine, m'annonçant qu'il n'a plus aucun doute sur l'existence de ce nouveau métal, auquel il donne le nom de *Decipium.* Les caractères de son oxyde seraient : Équivalent, environ 122. Terre probablement blanche. Sels incolores. Solutions présentant trois bandes d'absorption au moins dans l'indigo et le bleu.

[3] *Archives*, t. LXIII, p. 89.

terre serait la philippine de M. Delafontaine, mais cette supposition paraît écartée par l'examen de deux échantillons de cette dernière base. M. Soret en effet y retrouve bien ces mêmes raies, mais beaucoup moins prononcées que dans d'autres produits provenant de mes préparations.

Il y a là, comme on le voit, un champ d'étude qui promet encore de nombreuses découvertes.

Sans doute la multiplicité de ces bases et leur extrême analogie diminue beaucoup l'intérêt qui s'attache à leur découverte et à leur séparation. Cependant, si l'on parvenait à les isoler complètement les unes des autres, de manière à pouvoir déterminer exactement leurs équivalents, on pourrait espérer de voir se manifester, par la comparaison des poids de ces corps appartenant à un groupe si bien caractérisé, des rapports qui jetteraient peut-être quelque jour sur les relations des poids atomiques des divers éléments.

Je remarque en terminant que si l'on adopte le nombre 131 pour l'équivalent de l'ytterbine, le poids atomique de l'ytterbium sera 115 ou 172,5, suivant que l'on adoptera pour les oxydes de ce groupe la formule RO ou R^2O^3.

TRANSFORMATION
PAR L'ACIDE HYPOBROMEUX
DE L'ÉTHYLÈNE DIBROMÉ
EN UNE ACÉTONE A 4 ATOMES DE CARBONE

PAR

M. E. DEMOLE

La théorie que j'ai proposée dernièrement[1] pour expliquer l'oxydation et la polymérisation de l'éthylène dibromé par l'oxygène libre, suppose la formation passagère d'un corps non saturé, C_2HBr, lequel, tantôt s'oxyderait en reprenant HBr et passerait ainsi à l'état de *Bromure de Bromacétyle,* tantôt se polymériserait en reprenant aussi HBr, suivant la température et la richesse du milieu en oxygène. Pour donner quelque valeur à cette manière de voir, il m'a paru nécessaire de chercher à isoler ce corps non saturé C_2HBr, ou tout au moins à l'engager dans une combinaison stable, de telle sorte qu'on ne puisse se méprendre sur son existence. L'acide hypobromeux jouit, à une température peu élevée, d'être à la fois une source d'oxygène naissant et de pouvoir s'additionner aisément aux molécules incomplètes.

A ce double titre on pouvait espérer qu'à une température peu élevée, cet acide, mis en présence de l'éthylène dibromé, lui céderait de l'oxygène et que le corps

[1] Berichte der deutsch. chem. Gesellsch. 1878, p. 1307.

transitoire C_2HBr, formé en vertu de cette oxydation, achèverait de se saturer par une ou deux molécules du même acide hypobromeux. L'expérience est venue partiellement réaliser ces prévisions, mais en y apportant aussi des faits inattendus. Voici la suite et le détail des opérations.

Action de BrOH sur l'éthylène dibromé.

A l'éthylène dibromé pur et très fraîchement préparé on ajoute une solution refroidie de BrOH à 5,3°/₀, dans la proportion de 11 C.C. de solution acide pour 1 gr. de $C_2H_2Br_2$.

Ce mélange est fortement agité durant une heure; la température s'élève sensiblement[1].

Au bout de ce temps la réaction est achevée; on observe que l'éthylène dibromé qui occupait le fond du ballon, a diminué de volume, et que toute la masse du liquide est colorée en jaune par le brôme, preuve qu'il n'y a plus en présence de corps non saturés. Le liquide et l'huile sont étudiés séparément.

A. *Liquide.*

On traite par H_2S, en évitant un excès de réactif, la totalité du liquide coloré en jaune, et séparé de l'huile, afin d'éloigner le bromure de mercure. Après filtration, on reprend par l'éther et distille ce dernier. Entre 200 et 210° C. il passe un acide bromé, cristallisant par refroi-

[1] Sur une quantité de 1500 c. c. de liquide, possédant la température primitive de 13° C., on a observé après quelques minutes d'agitation un accroissement de 20° C., soit une température de 33° C.; cette dernière ne paraît cependant pas avoir été dépassée.

dissement et dont les analyses concordent avec la formule de l'*acide bromacétique.*

La formation de cet acide est bien explicable, lorsqu'on se rappelle que par l'oxygène, l'éthylène dibromé se transforme en bromure de bromacétyle. Ce dernier en présence de l'eau s'est naturellement détruit en $BrH + C_2H_3BrO_2$.

B. *Huile.*

Corps pesant, visqueux, exalant l'odeur du brome. Au premier abord, on le prendrait pour le composé $C_2H_2Br_4$, résultant de l'union de Br_2 à $C_2H_2Br_2$.

A l'abri de l'air, ce corps ne paraît pas se modifier, mais, exposé en couches minces sur un verre de vitre, il ne tarde pas à cristalliser, grâce à l'évaporation d'une partie plus volatile que les cristaux[1].

Pour hâter cette séparation, l'huile brute est placée sur un verre de pendule, et chauffée pendant 4 à 5 heures; par refroidissement, elle se prend en une masse cristalline, brune et solide. On purifie aisément et complètement ce corps en le pressant entre deux briques poreuses, puis le cristallisant deux ou trois fois avec de l'alcool concentré et bouillant. Gros prismes, généralement groupés en houppes, fondant à 89-90° C., et se détruisant plus haut que 100°. A peu près complètement insoluble dans l'eau froide, très peu dans l'alcool froid, passablement dans l'alcool concentré et bouillant, dans l'éther,

[1] On a soumis à la distillation une portion de cette huile. Sitôt après 100°, le liquide a commencé à se détruire; vers 205, en même temps qu'un fort dégagement de HBr, il a distillé un corps se détruisant à cette température, dont les analyses concordent avec la formule $C_2H_2Br_4$. C'est donc ce composé qui est chassé par la chaleur du bain-marie.

ainsi que dans les alcools méthyliques et amyliqnes bouillants. Poids spécif. du corps fondu à 0°=2,88.

Un très grand nombre d'analyses, toutes concordantes, conduisent à la formule $C_4H_2B_26O$, bien que les chiffres d'hydrogène soient généralement un peu trop élevés.

Le brome et les acides sont sans action sensible sur ce corps, même à chaud, la potasse alcoolique bouillante ne paraît pas l'altérer rapidement.

Chauffé 5 heures en tube fermé avec du chlorure d'acétyle à 150° C., il n'a pas fourni de dégagements de HBr à l'ouverture du tube, et le contenu, recristallisé, possédait toujours la formule $C_4H_2Br_6O$.

L'auhydride acétique dans des conditions semblables n'a également produit aucun changement sur ce corps. A cause de ces différentes propriétés, il faut donc admettre que ce composé, bien qu'il soit oxygène, ne renferme cependant pas d'oxhydrile. L'oxygène est donc lié au carbone par deux liaisons, de façon à constituer une aldéhyde, une acétone ou un oxyde alcoolique.

On a cherché à établir la constitution du corps C_4H_2 BrO par sa réduction et par son oxydation.

Réduction de $C_4H_2Br_6O$.

On a fait passer un courant lent d'acide HCL dans une solution alcoolique bouillante du corps ci-dessus, en digestion avec de l'amalgame de Sodium (5°/₀). En une heure ou deux, la réduction est achevée. On neutralise la liqueur acide par Na_2CO_3, filtre et ajoute du bisulfite de sodium concentré, en ayant soin d'agiter. Après une heure de contact, on filtre les cristaux, les lave à l'éther, les sèche, puis, on leur ajoute leur poids d'eau, leur poids de carbonate de soude et l'on distille le tout. Il passe à la dis-

tillation un corps plus volatil que l'eau; le liquide distillé est repris par l'éther, ce dernier séché sur K_2CO_3, puis distillé. Après le passage de l'éther, on a obtenu un corps qui, après purification, bouillait à 79-81°C.; ce composé, très peu abondant, possède une odeur forte rappelant celle de l'acétone. Il est soluble dans l'eau, l'alcool et l'éther. Les analyses concordent avec la formule C_4H_8O qui est celle de l'*éthyle méthyle acétone.* Traité par le bisulfite de sodium, il a formé avec ce dernier une cristallisation qui, purifiée, donne à l'analyse les chiffres $C_4H_9NaSO_4$. D'après ces expériences on peut admettre que le corps bromé $C_4H_2Br_6O$, soumis à la réduction, n'était autre qu'une acétone, l'*éthyle méthyle acétone-hexabromée.*

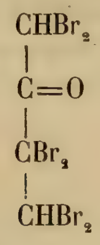
Oxydation de l'éthyle méthyle acétone hexabromée.

Pour mieux éclaircir encore la constitution de ce corps et pour élucider une question intéressante on l'a soumis à l'oxydation produite par l'acide nitrique fumant. Il s'agissait de savoir en quoi consisteraient exactement les corps formés dans cette oxydation.

Au cas où les 6 atomes de brome se trouveraient répartis dans $C_4H_2Br_6O$ entre les deux carbones de l'extrémité de la chaîne,

$$\begin{array}{l} CBr_3 \\ | \\ C{=}O \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CBr_3 \end{array}$$

et si la loi de Popoff s'étend aussi aux acétones bromées, on pouvait obtenir un acide bibasique, l'acide malonique et CO_2; si, en revanche, les 6 atomes de Brome se trouvaient distribués entre les trois atomes de carbone :



on pouvait obtenir l'acide mésoxalique et CO_2. L'acide nitrique fumant, à la température du bain-marie attaque $C_4H_2Br_6O$ avec violence; ce corps disparaît peu à peu, tandis que des torrents de vapeurs se dégagent. Ces vapeurs, après avoir été lavées à l'eau furent conduites dans un grand excès d'eau de Baryte parfaitement limpide; au bout de peu de temps, il se forma un précipité blanc de carbonate de Baryum. L'opération de l'oxydation est terminée lorsque tout le corps bromé a disparu et qu'il ne cristallise plus par refroidissement de la solution nitrique. Cette solution est évaporée à sec, le résidu repris par l'eau et cristallisé deux ou trois fois par évaporation. Il se forme ainsi de gros cristaux réunis en feuilles, non bromés, solubles dans l'eau et l'alcool, très acides, et fusibles à 139-140° C. Leur solution ne précipite pas par $CaCl_2$. Séchés à 100°, ces cristaux ont fourni à l'analyse des chiffres concordant exactement avec la formule de l'*acide Malonique* $C_3H_4O_4$. La solution aqueuse de cet acide, neutralisée par de la Baryte en excès, saturée ensuite de CO_2 pour éloigner cet excès, a abandonné à l'évaporation des croûtes cristallines possé-

dant la formule $C_3H_2BaO_4$, très peu solubles dans l'eau, même chaude, qui ne sont autre que le *Malonate neutre de Baryum.*

Il résulte de ces faits, que dans l'*éthyle méthyle-acétone hexabromée,* obtenue par $BrOH + C_2H_2Br_2$ les 6 atomes de brome sont répartis également entre les deux carbones du bout de la chaîne et que, dès lors, la constitution de la dite acétone est :

$$\begin{array}{l} CBr_3 \\ | \\ C{=}O \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CBr_3 \end{array}$$

Enfin dans l'oxydation de ce corps, la scission de la chaîne se fait encore d'après la loi de Popoff, mais à cause des groupes CBr_3, il en résulte CO_2 est un acide dibasique, l'*acide Malonique.*

Conclusions

Il semble établi par ce qui précède, que, lorsque l'éthylène dibromé est soumis à l'oxydation, il se forme bien effectivement comme je l'avais supposé[1], un corps transitoire C_2HBr, acétylène bromé a l'état naissant ou isomère. A basse température, ce corps se polymérise en reprenant HBr. A une température plus élevée, il prend à la fois de l'oxygène et HBr pour donner le *bromure de Bromacétyle;* enfin, en présence de l'acide Hypobromeux, sa molécule s'y additionne, mais en se doublant, et se

[1] Berichte d. d. ch. Gesellsch. 1878, 1307.

saturant de $HBr+Br_2$ de façon à fournir l'*alcool butylique secondaire hexabromé*

$$1^\circ\ 2\,(C_2HBr)+BrOH=\ \begin{array}{l} CBr_2 \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH \\ | \\ CBr \end{array}$$

$$2^\circ\quad \begin{array}{l} CBr_2 \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH \\ | \\ CBr \end{array} \!\!+HBr+Br_2=\ \begin{array}{l} CBr_3 \\ | \\ CHOH \\ | \\ CBr_2 \\ | \\ CBr_3 \end{array}$$

Le groupe alcoolique CHOH dans le voisinage d'autant de Brome ne pouvant probablement pas subsister, se transforme en C=O, et de cette façon prend naissance l'*éthyle méthyle-acétone hexabromée.*

La facilité avec laquelle ce corps transitoire C_2HBr subit la polymérisation et l'oxydation est digne de remarque. L'oxygène libre, à une certaine température, fournit avec ce corps le type aldéhyde; l'oxygène naissant et BrOH, le type acétone, mais avec une molécule double; peut-être sera-t-il possible, en variant l'expérience, d'arriver au type oxyde d'éthylène : c'est en ceci que consiste du reste le but de ces recherches.

Vevey, octobre 1878.

NOTICE

SUR

L'OUVRAGE DE M. LE PROFESSEUR HEIM

INTITULÉ :

MECHANISMUS DER GEBIRGSBILDUNG

IM ANSCHLUSS AN DIE GEOLOGISCHE MONOGRAPHIE DER TŒDI-WINDGÆLLEN-GRUPPE

(2 vol. in-4 av. Atlas. — Bâle, Benno Schwabe, 1878).

Je voudrais signaler et recommander au public scientifique de langue française un ouvrage géologique tout récent, qui me paraît très important, non seulement à titre d'étude consciencieuse d'une région alpine fort intéressante, mais encore par les recherches systématiques de l'auteur sur le mode de formation des Alpes, et des chaînes de montagnes en général.

M. le professeur Albert Heim, ancien élève du regretté Escher de la Linth, a remplacé celui-ci dans la chaire de géologie de l'Université de Zurich et de l'Ecole polytechnique fédérale. Il a pu profiter de toute l'expérience de son maître, et de toutes ses notes manuscrites non encore publiées. Après avoir maintes fois parcouru les Alpes glaronnaises avec notre regretté collègue, il les a étudiées seul plus en détail pendant bien des années. Dans ces explorations, tout comme dans ses nombreux voyages au travers de l'Europe, depuis la Sicile, au sud, jusqu'à la Scandinavie au nord, il a spécialement porté son attention sur les diverses altérations et dérangements des roches, et sur les actions physiques qu'elles ont dû subir.

C'est aussi le point de vue dominant dans l'ouvrage que je me fais un plaisir d'annoncer ; c'est là ce que l'auteur a voulu désigner par l'expression de « Mécanisme de la formation des montagnes. » Par ces considérations générales, ou plutôt principielles, dont l'œuvre du professeur Heim est très riche, elle se recommande, non seulement à l'attention des géologues suisses, mais encore à celle de tout géologue préoccupé des lois physiques qui régissent notre globe.

L'ouvrage se compose de deux volumes in-4°, accompagnés d'un magnifique Atlas de 17 grandes planches in-folio, dont 14 chromolithographiées. Les deux premières sont des Cartes géologiques, l'une au $^1/_{100\,000}$ du massif du Tödi et environs, l'autre au $^1/_{250\,000}$, représentant les Alpes glaronnaises et les chaînes grisonnes au nord-ouest du Rhin. Les planches suivantes contiennent des profils géologiques à échelle proportionnelle, sans exagération des hauteurs, ainsi que des dessins et croquis, faits de main de maître, dont l'exactitude est d'autant plus assurée qu'ils ont tous été gravés sur pierre par l'auteur lui-même.

Le premier volume, de 350 pages, contient la géologie du massif du Tödi (Tödi-Windgällen-Gruppe), tandis que le second, de 250 pages, est consacré à la discussion des principes orographiques généraux, applicables à toutes les régions montagneuses. Ils se complètent ainsi l'un l'autre, et forment un tout inséparable.

Le groupe montagneux Tödi-Windgälle se trouve à l'extrémité orientale du Massif cristallin du Finsteraarhorn. La Reuss, la Linth et le Rhin postérieur prennent leur source dans cette contrée. Nous y trouvons des roches d'un âge très différent ; la protogine s'y rencontre à très faible distance des terrains éocènes.

Le premier volume de M. Heim est divisé en cinq parties, dont la première est consacrée à la description des roches cristallines qui forment le noyau central de ce massif. Le granit de Puntaiglas, le porphyre de la Windgälle ont un intérêt spécial. Les schistes variés du massif central se répètent dans le profil transversal, marquant des voûtes et des plis synclinaux. Le massif central lui-même contient du verrucano et du terrain carbonifère. Une partie du verrucano est contemporain au carbonifère.

Quant aux terrains sédimentaires, qui font l'objet de la seconde partie, ils comprennent la série à peu près complète dès le terrain carbonifère jusqu'à l'éocène. Les fossiles y sont en général assez rares ; ils suffisent toutefois pour signaler l'existence des divers terrains liasiques, jurassiques et crétacés. L'auteur note entre autres *Ammonites raricostatus,* trouvé pour la première fois dans les Alpes centrales.

Mais ce qui fait le principal intérêt de cette région, ce sont les plissements gigantesques du sol, d'une intensité et d'une extension telles, que nulle part on n'en a cité de pareils. Les renversements sont si considérables qu'ils dépassent encore en étendue et en étrangeté le renversement si curieux des Dents-de-Morcles, que j'ai fait connaître, l'an passé, dans le numéro de mai des *Archives.*

La troisième partie du volume est consacrée à la description de ces plissements compliqués. Un pli énorme, déjeté vers le nord, longe le bord septentrional du massif central. Il renverse par-dessus le nummulitique les terrains jurassiques, le verrucano, le porphyre et même le gneiss ! Dans la direction de la Windgälle à la Landalp inférieure, ce pli se dissout en un assez grand nombre de plis plus petits. Au bord méridional du massif central,

nous trouvons que la chaîne du Piz Tumbif est formée par un pli qui se replie encore une fois, ce qui forme le *pli d'un pli!* La zone médiane de sédiments calcaires, qui s'élève sur le dos du massif cristallin, pénètre en quelques endroits dans celui-ci, en formant des synclinales très comprimées. Le Tödi lui-même est un énorme bloc de calcaire jurassique qui a été séparé des masses environnantes de même nature par de gigantesques dénudations ! Au sommet du Bifertenstock, nous voyons les calcaires nummulitiques portés à une hauteur de 3450 mètres. Plusieurs des plis les plus remarquables de cette contrée étaient inconnus jusqu'ici.

La quatrième partie du premier volume contient une monographie du fameux double plissement, en sens contraires, connu sous le nom de *Glarner Doppelfalte.* Escher de la Linth avait, le premier, découvert ce phénomène, qui, sur une étendue de 1135 kilomètres carrés, intervertit absolument la superposition naturelle des couches. Plusieurs géologues prétendirent qu'un renversement d'une telle étendue était impossible, inadmissible ! Cette opinion avait pour excuse une connaissance incomplète des lieux. L'ouvrage que j'analyse vient pour la première fois nous rendre compte des phénomènes dans toute l'étendue du renversement. L'explication mécanique que M. Escher avait tentée se trouve confirmée et développée dans tous les détails. A cette occasion, nous trouvons déjà dans ce premier volume un certain nombre de recherches générales, entre autres sur la formation et la théorie des plis déjetés. Nous y trouvons ensuite des propositions tendant à un mode de désignation uniforme pour les différentes parties d'un pli, etc. Enfin l'auteur démontre que le double pli glaronnais est la continuation mécanique du

massif central du Finsteraarhorn ; que ce dernier est aussi formé par refoulement latéral, que ces divers mouvements sont de même âge, et ont dû se produire à l'époque miocène ou pliocène.

La dernière partie du premier volume traite des formes de la surface. Différents chapitres envisagent successivement : les glaciers, les effets des glaciers quaternaires dans la région étudiée, les avalanches, les sources, et surtout les relations de la destruction et de l'érosion avec le relief du sol. La dénudation a détruit absolument les formes qui correspondraient à la structure intérieure des montagnes. Les Alpes, de nos jours, n'ont plus guère que la moitié de leur volume primitif, l'autre moitié a été enlevée par l'érosion. On reconnaît, en forme de terrasses et de gradins, aux flancs et au fond des vallées, les restes d'anciens sols jusqu'à une hauteur de plus de 2000 mètres au-dessus du sol actuel. Ces terrasses sont, dans leurs niveaux, absolument indépendantes de la composition de la montagne, mais elles sont les mêmes pour les confluents d'une même rivière, et différentes pour les vallées formées par différentes rivières principales.

La conclusion nécessaire de ces faits, pense M. Heim, c'est que les vallées des Alpes sont dues entièrement à l'érosion. Si des fissures ou des lignes synclinales en ont d'abord fixé la direction, ce devait être bien au-dessus de nos cimes et crêtes actuelles, dans des roches disparues depuis longtemps. Beaucoup de grandes rivières existaient avant les montagnes qui les entourent maintenant. L'érosion opère d'aval en amont, et les vallées s'enfonçant ainsi de plus en plus dans les montagnes, se sont souvent entre-coupées. Dans un résumé spécial, l'auteur énumère les raisons qu'il oppose aux géologues qui admettent que

les vallées de montagnes sont des ruptures de l'écorce terrestre.

La première partie du second volume est intitulée : « La déformation mécanique des roches par le soulèvement des montagnes. » Les phénomènes de plissement, d'étirement, de déchirement, de clivage, etc., sont examinés dans leurs rapports physiques. Il en ressort que la déformation, sans fissure, s'est produite sur des roches qui avaient déjà acquis leur dureté actuelle. Les nouvelles observations se rattachant à ces phénomènes sont groupées en seize lois. L'auteur développe, par exemple, les résultats de l'examen microscopique de roches déformées par la pression ; celle-ci peut même produire des changements chimiques. Le chapitre suivant contient l'explication physique de ces phénomènes ; on peut le résumer comme suit : A une certaine profondeur sous la surface, les roches se trouvent sous une pression bien plus grande que leur force de résistance. Cette pression se répand dans toutes les directions comme dans un liquide. Les roches sont ainsi réduites à un état plastique latent. Aussitôt qu'une nouvelle force, comme la pression latérale, cause du soulèvement des montagnes, agit sur la masse, il en résulte une déformation homogène. Les roches voisines de la surface se déforment en se fendillant. Les pressions qui ont agi pendant le refoulement des Alpes sont telles que l'exigent la théorie et l'expérience. — Suivent des applications à la théorie des eaux thermales, des volcans et des tremblements de terre, ainsi qu'à la construction des tunnels.

Une seconde partie de ce volume est consacrée aux massifs centraux des Alpes. Beaucoup de géologues esti-

ment que les massifs centraux, jouant le rôle de roches éruptives *actives*, ont soulevé les Alpes, en refoulant, de droite et de gauche, les masses sédimentaires.

MM. Favre, Suess, etc., regardent au contraire les massifs centraux comme formés par plissement. M. Heim est du même avis; il démontre que toutes les roches éruptives des Alpes sont bien plus anciennes que le soulèvement de la chaîne, ce qui prouve qu'elles ont joué, pendant le soulèvement, un rôle aussi *passif* que les roches sédimentaires elles-mêmes. Certains massifs centraux, comme celui du Simplon, forment des voûtes larges et bien conservées. Nous trouvons tous les intermédiaires depuis cette forme régulière jusqu'à la structure en éventail, qui n'est qu'un plissement excessif. Il n'y a pas de séparation définie entre les schistes du massif central et les roches sédimentaires qui leur sont associées dans l'intérieur même du massif. Tandis que les schistes cristallins ont ordinairement un très fort plongement, nous les voyons, en quelques endroits, peu inclinés et absolument parallèles aux calcaires. Les discordances qui existent souvent entre les deux groupes de roches ne sont pas primitives; elles ne se sont produites ni par un phénomène de refroidissement, ni par un soulèvement antérieur, mais bien par une différence de mouvement pendant le refoulement des Alpes. Selon M. Heim, la preuve la plus claire de la passivité des roches cristallines est donnée par la démonstration répétée, et amplement détaillée dans ce volume, que le massif central lui-même a subi une énorme compression latérale, qui, par refoulement, a réduit cette zone de l'écorce terrestre presqu'à la moitié de sa largeur primitive. Les massifs centraux sont donc des zones de plissement de l'écorce

terrestre, d'un « faciès mécanique » un peu différent de celui qu'on observe généralement dans les chaînes calcaires. La différence s'explique parfaitement par celle du poids qui opérait sur l'un et l'autre groupe de roches pendant le refoulement latéral.

La dernière partie de l'ouvrage porte pour titre : « Sur la structure et la formation des chaînes de montagnes. » L'auteur y groupe les résultats des recherches précédentes. Après une relation historique des diverses vues successivement émises sur le soulèvement des montagnes, M. Heim décrit, d'une manière générale, les différents phénomènes de dislocation dans l'intérieur des chaînes de montagnes. Le refoulement latéral, qu'il reconnaît pour seule cause de la formation des chaînes, peut se mesurer dans les profils, en étendant les couches plissées. Un raccourcissement de $^1/_{100}$ seulement de la circonférence terrestre aurait suffi pour plisser l'écorce de manière à former toutes les montagnes qui se trouvent sur le méridien croisant les Alpes.

Les derniers chapitres contiennent des recherches sur la répartition du refoulement latéral à la surface du globe, sur les relations des différentes sortes de montagnes entre elles et avec les continents, ainsi que sur les causes finales de leur formation. L'auteur attribue, en définitive, les plissements de l'écorce terrestre à la diminution du diamètre du globe, résultant de la contraction, par refroidissement, des masses internes. — C'est là ce que j'enseigne dans mes cours depuis plusieurs années, et je suis heureux de trouver chez mon collègue de Zurich une pareille conformité de vues. — M. Heim évalue à 50,000 mètres la diminution du rayon terrestre, et estime que le résultat serait le même dans les deux hy-

pothèses de la fluidité ou de la solidité du noyau interne.

L'analyse très sommaire que je viens de donner de cet important travail est due, en majeure partie, à l'auteur lui-même, qui a bien voulu m'en fournir les matériaux, en résumant pour moi les idées essentielles de son ouvrage. C'est là une garantie de l'exactitude de mon analyse. Mais ce que celle-ci ne peut pas rendre, c'est le détail des nombreuses observations locales, et l'enchaînement des raisonnements, qui aboutissent aux conclusions théoriques de l'auteur. Les derniers chapitres sont, en particulier, si importants à cet égard et d'un intérêt si général, qu'ils mériteraient d'être traduits entièrement. Leur reproduction *in extenso*, en français, ne sortirait point, me paraît-il, du cadre naturel des *Archives*, et serait, je crois, fort utile aux lecteurs de cette Revue. C'est un vœu que je me permets d'exprimer !

J'ajoute que M. Heim se montre, par cet ouvrage, animé d'un esprit tout à fait indépendant, qui ne s'est inféodé à aucune école. La préface en fournit déjà la preuve, et contient bon nombre d'observations intéressantes et très judicieuses sur les méthodes géologiques.

Ce livre devrait se trouver dans toutes les bibliothèques scientifiques, car il restera certainement classique.

Lausanne, le 26 octobre 1878.

E. Renevier, prof.

GÉOGRAPHIE
ET
ARCHÉOLOGIE FORESTIÈRES

PAR

M. le Dr ASA GRAY

(Traduit de *American journal of science and arts*, vol. XVI, 1878.)

Les *Archives* ont publié dans leur numéro du 15 septembre 1878 la traduction d'un article de Sir J. Hooker sur le voyage qu'il a fait l'an dernier en Amérique avec M. le Docteur Asa Gray et en particulier sur la végétation des Montagnes Rocheuses. C'est encore dans l'Amérique du Nord que le travail dont nous offrons aujourd'hui un extrait, conduira nos lecteurs; mais c'est dans l'Amérique considérée dans ses relations avec d'autres régions de la zone tempérée. Personne, mieux que le Docteur Asa Gray qui, avant que les découvertes de la paléontologie vinssent lui donner raison, avait soupçonné les faits qui vont être exposés, n'était en mesure de les résumer et d'offrir au public scientifique une esquisse de l'état de nos connaissances sur l'origine et la généalogie de nos arbres forestiers.

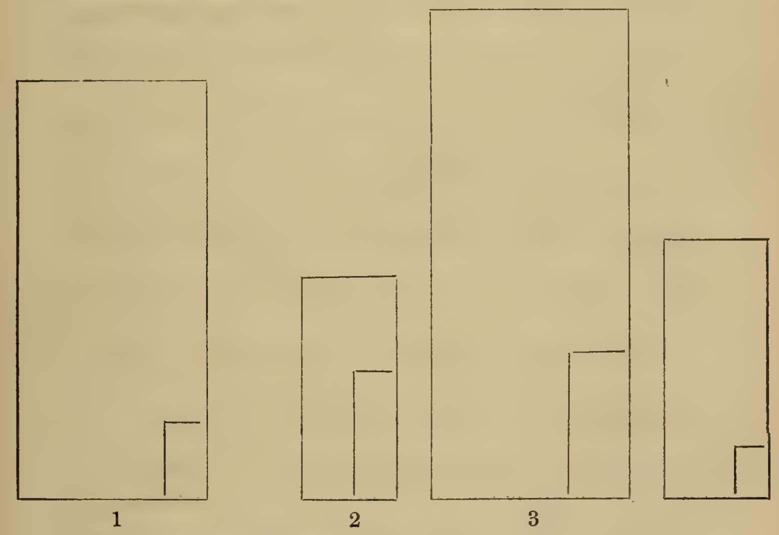
Nous ne nous étendrons pas sur la première partie du travail du Docteur Asa Gray qui est consacrée à une description générale des trois groupes forestiers de l'Amérique du Nord, le groupe Atlantique, le groupe Pacifique et celui moins important des Montagnes Rocheuses. Le principal but de l'auteur est de justifier la distribu-

tion actuelle de ces forêts au moyen de considérations tirées du climat et surtout de l'humidité de chaque région. Mais nous traduirons à peu près textuellement la seconde partie qui est consacrée à la comparaison des principales forêts de l'hémisphère boréal et à l'étude de l'origine probable des essences qui les composent.

« Les différentes régions forestières de la zone tempérée sont peuplées d'essences voisines les unes des autres; entre elles l'identité spécifique absolue est rare; mais, sous toutes les longitudes on rencontre des pins, des sapins, des mélèzes, des cyprès, des genévriers, des chênes, des bouleaux, des saules, des peupliers, des érables, etc. Chaque région présente néanmoins des caractères particuliers qui permettent de la reconnaître au premier coup d'œil.

« Par exemple, l'Amérique renferme deux groupes forestiers principaux, celui du versant Atlantique et celui du versant Pacifique. Dans la comparaison de l'ensemble de leur végétation, le trait le plus frappant c'est la pauvreté du second de ces groupes comparé au premier : on n'y trouve ni Magnolia, ni tulipier, ni tilleul, ni houx, ni Sassafras, ni Catalpa, ni Maclura, tous genres répandus sur le versan Atlantique. D'autres genres communs aux deux groupes comptent bien plus d'espèces dans le premier; tels sont, par exemple, les érables, les frênes, les peupliers, les noyers, les bouleaux, les chênes. Traduits en chiffres, ces faits donnent les résultats suivants : dans la forêt Atlantique on compte 66 genres et 155 espèces et dans la forêt Pacifique, 31 genres et 78 espèces seulement. On peut aussi les représenter au moyen des diagrammes ci-joints dans lesquels le petit côté des rectangles est proportionnel au nombre des genres et le grand au nombre des espèces.

« Un autre fait mérite aussi d'attirer notre attention : c'est, dans la forêt Pacifique, la proportion relativement considérable des conifères, comparée à celle des arbres à feuilles caduques. Elle en compte 12 genres et 44 espèces (contre 11 genres et 25 espèces dans les forêts Atlantiques), et dans le nombre quelques-uns des géants du règne végétal, comme les Sequoia. Ce nouveau rapport est également indiqué dans les diagrammes au moyen de petits rectangles inscrits dans les grands et qui, dessinés à la même échelle, indiquent spécialement la proportion des conifères.



1. Forêt américaine Atlantique.
2. Forêt américaine Pacifique.
3. Forêt du Japon et de la Mandchourie.
4. Forêt européenne.

« Si, maintenant, nous étendons cette étude au reste de l'hémisphère boréal, nous rencontrerons deux autres régions forestières importantes sur lesquelles nous pour-

rons nous livrer à un travail analogue : l'une est située dans la portion nord-est du continent asiatique (Japon et Mandchourie) et l'autre en Europe. La première de ces régions, celle des quatre qui présente l'aire géographique la moins étendue, rappelle tout à fait, par sa richesse, l'Amérique Atlantique et compte 66 genres et 168 espèces. La seconde, qui ressemble plutôt à l'Amérique Pacifique, ne compte que 33 genres et 85 espèces d'arbres forestiers. Relativement aux conifères, les chiffres sont les suivants : Europe, 7 genres et 17 espèces; Japon et Mandchourie, 19 genres et 45 espèces. Ces différents faits sont consignés dans les diagrammes 3 et 4, qui sont construits exactement sur le même plan que les autres.

« On rencontre un assez grand nombre d'espèces herbacées ou sous-frutescentes, communes aux deux régions de l'ancien monde, ou à celles du nouveau; des rapports encore plus marqués existent entre la région Asiatique et celle de l'Amérique Atlantique; ils sont plus rares entre les autres régions. Par contre, fort peu d'arbres proprement dits franchissent les limites d'un groupe forestier; on ne peut guère citer que le *Juniperus virginiana* et le *Populus tremuloides* qui traversent tout le continent américain; le pin du Canada est représenté par un type presque identique dans les forêts du versant Pacifique; l'if est peut-être une espèce polymorphe commune aux quatre régions. Le bouleau blanc d'Europe et celui du Canada et de la Nouvelle-Angleterre sont semblables; il en est de même pour le châtaignier, qui se trouve aussi au Japon. Enfin, le *Pinus menziesii* de l'Orégon habite aussi les forêts de l'Asie nord-est et se rencontre encore dans les Montagnes Rocheuses.

« A la suite de cet exposé plusieurs questions d'un intérêt théorique s'imposent à notre attention :

Pourquoi la forêt américaine du versant Pacifique si riche en conifères est-elle si pauvre en arbres à feuilles caduques ? Les deux Sequoia, qui ne se rencontrent qu'en Californie et qui sont presque aussi isolés dans le règne végétal par leurs caractères que sur le globe par leur station géographique, comment sont-ils arrivés dans ce pays? Les arbres les plus voisins des Sequoia appartiennent aussi à des genres monotypes à stations tout à fait locales; l'un d'entre eux, le Taxodium appartient aux États Atlantiques et au plateau du Mexique, les autres sont japonais et chinois.

Pourquoi ces genres voisins les uns des autres qui tous peuvent prospérer sous le climat de l'Europe se trouvent-ils cantonnés l'un dans la portion orientale, un autre dans la portion occidentale de l'Amérique du Nord, les autres enfin dans une bande étroite de l'Asie orientale.

Pourquoi les forêts de la région asiatique, la moins étendue des quatre, possèdent-elles plus d'espèces, non seulement de conifères, mais d'arbres en général, que les autres forêts de la zone tempérée ? Pourquoi la seule région qui approche de celle-ci est-elle placée à ses antipodes, c'est-à-dire sur le versant Atlantique de l'Amérique du Nord ? Pourquoi, en d'autres termes, les forêts du versant Pacifique américain et de l'Europe sont-elles plus pauvres en espèces que les autres?

« Comme premier pas à faire vers une explication de ce phénomène, notons d'abord certains rapports particuliers entre les deux régions favorisées, et entre autres le grand nombre de types qu'elles ont en commun. Ne nous représentent-elles pas l'état normal des forêts de la

zone tempérée et ce que nous devons chercher à expliquer n'est-ce pas plutôt l'absence de formes nombreuses de l'Europe d'un côté, de l'Orégon et de la Californie de l'autre. Nous avons énuméré une longue série d'arbres répandus dans les forêts des États Atlantiques qui manquent aux États Pacifiques; tous ou presque tous se retrouvent sous des formes très voisines au Japon, dans la Chine septentrionale, etc.; un petit nombre seulement en Europe. En étendant la comparaison aux arbustes et aux plantes herbacées, nous reconnaîtrons toujours plus que les types, que par comparaison avec l'Europe et le versant Pacifique nous regardons comme spéciaux à nos États Atlantiques, se retrouvent au Japon, comme espèces voisines ou identiques, souvent comme genres monotypes voisins. Il y a déjà longtemps que j'ai commencé à noter ces faits; j'en ai dressé à plusieurs reprises des listes plus ou moins longues, et maintenant ils sont devenus si nombreux, que je ne serais point étonné si l'on rapportait de l'Asie orientale quelque Sarracenia ou quelque Dionæa. Il semble vraiment que, lorsqu'un genre possédait suffisamment d'espèces, elles aient été équitablement réparties entre les différents quartiers de la zone tempérée, mais que lorsqu'il n'y en avait que deux, l'une ait été donnée au Japon, à la Mandchourie ou à l'Himalaya et l'autre à la portion orientale de l'Amérique du Nord. De là résulte que dans la répartition des arbres de notre zone deux régions ont été exceptionnellement favorisées ou bien les deux autres ont été placées dans des conditions défavorables; j'ai déjà indiqué que je penche pour cette dernière alternative.

« Tous les végétaux et les arbres plus que tous les autres sont en relation directe avec le climat de la région

qu'ils habitent. Mais, ce fait ne suffit pas pour expliquer la pauvreté des forêts européennes ; des expériences suffisamment prolongées le prouvent : en Angleterre, par exemple, on peut élever bien plus d'espèces d'arbres que dans nos États Atlantiques ; on y voit prospérer en plein air non seulement nos arbres indigènes, mais encore ceux des États du versant Pacifique et ceux du Japon et de la Sibérie. Cependant, dans les forêts toutes ces espèces manquent ; on n'y voit pas nos Magnolia, nos Tulipiers, Asimina, Negundo, non plus que les nombreux types de la famille des légumineuses (Gleditschia, Gymnocladus, Cladrastis, etc.), les Liquidambar, Catalpa, Sassafras, les pins du Canada, Arbor-vitæ, Taxodium, Torreya. On n'y voit pas davantage les Ailanthus, les Gingko asiatiques, et d'autre part je n'y trouve aucun type spécial, aucun type qui ne se retrouve en Amérique, en Asie ou dans les deux.

« Cependant, vers la fin de l'époque tertiaire, un grand nombre de ces genres, peut-être tous étaient représentés en Europe par des espèces très voisines ou mêmes identiques à celles qui vivent actuellement dans le Nouveau Monde : la forêt miocène européenne devait ressembler beaucoup à la forêt de nos États Atlantiques. Depuis lors, la période glaciaire est venue, entraînant avec elle la disparition de beaucoup de types qui n'ont pas reparu ; c'est du moins l'explication la plus probable de la pauvreté actuelle des forêts européennes.

« Comment ces types américains étaient-ils arrivés en Europe ? comment en particulier l'Europe avait-elle des Sequoia cantonnés aujourd'hui en Californie ? on y a retrouvé des rameaux fossiles de deux espèces si semblables au Bois rouge et au Sequoia gigantea de la

période actuelle que si ces débris avaient été découverts en Californie, on les aurait immédiatement considérés comme leurs ancêtres. Malgré la distance des stations, il se peut bien qu'il en soit ainsi, puisqu'on admet généralement aujourd'hui que tous les individus de la même espèce ou très semblables les uns aux autres, dérivent de la même souche et ont un berceau commun, quelle que soit la distance qui puisse les séparer, soit dans le temps soit dans l'espace. L'opinion contraire qui voulait que tout être organisé dérivât de la place même où ses restes sont aujourd'hui retrouvés, n'a plus de valeur scientifique.

« D'autre part, les espèces des genres qui ne sont pas cosmopolites sont en général groupées dans une même région (les Carya dans les États Atlantiques de l'Amérique, les Aster et les Solidago dans l'Amérique du Nord, les bruyères dans l'Europe occidentale et en Afrique), ce qui permet également de conclure qu'elles ont une origine et un berceau communs. Quelle est donc l'histoire de la dispersion d'espèces organiquement voisines et géographiquement séparées les unes des autres ? Quelle est celle des espèces qui se rencontrent tout le tour de l'hémisphère ?

« Il est inutile de chercher l'explication de ces faits dans les causes qui agissent actuellement sur la dispersion, le vent, les courants d'eau, les oiseaux : elles sont tout à fait insuffisantes pour justifier les migrations d'un continent à l'autre. Mais nous pouvons nous en passer et la véritable explication du problème doit être cherchée dans une vue générale de l'état du globe. Je crois que nous pouvons la trouver en examinant la zone arctique, telle qu'elle est et telle qu'elle était.

« La zone arctique proprement dite, celle dans laquelle le froid empêche le développement de la végétation arborescente, est peuplée, à peu d'exceptions près, des mêmes espèces tout le tour du globe. Ce fait s'explique aisément si l'on considère que cette région présente une suite non interrompue de terres sur lesquelles une espèce a pu se répandre sans difficulté ; le seul intervalle considérable est entre la Scandinavie et le Groënland.

« Si aujourd'hui une nouvelle période froide faisait descendre peu à peu le climat de la zone arctique dans les régions tempérées, nous verrions se reproduire exactement ce qui s'est passé lors de l'époque glaciaire : les plantes caractéristiques des régions froides ont peu à peu gagné du terrain jusqu'à l'Europe méridionale, l'Asie centrale, la partie moyenne et méridionale des États-Unis. Plus tard, lorsque la température s'est réchauffée, un mouvement de retraite s'est prononcé et tandis que le principal corps des plantes arctiques s'est retiré vers le Nord, des groupes isolés se sont cantonnés sur les hautes montagnes (Alpes, Pyrénées, Apennins, Caucase, Montagnes Rocheuses) et ont continué à y végéter en subissant dans le cours des siècles des modifications plus ou moins profondes.

« Tout ce que nous venons de dire de l'époque glaciaire, s'applique aux végétaux et en particulier aux arbres de la zone tempérée. Cette idée que j'avais eue et publiée depuis longtemps s'est trouvée entièrement confirmée lorsque les découvertes de fossiles ont montré qu'à la fin de la période tertiaire, le Spitzberg, l'Islande, le Groënland, le Kamtchatka jouissaient d'un climat tempéré et possédaient des forêts semblables à celles de la Nouvelle-Angleterre, de la Virginie, de la Californie.

« L'ensemble de ces découvertes prouve que les mêmes espèces se trouvaient tout le tour du globe, mais que les forêts les plus riches existaient au Groënland et renfermaient non seulement la plupart des arbres américains que nous avons signalés dans les dépôts fossiles européens, les Magnolia, les Sassafras, les Caryas, les cyprès, plusieurs espèces de Sequoia, mais encore trois espèces de Gingko, dont l'une identique à celle qui vit actuellement au Japon. On y trouve aussi des traces de tous les autres arbres des régions tempérées, pins, érables, peupliers, bouleaux, tilleuls, etc. Bien que les longues généalogies soient toujours plus ou moins hypothétiques, les rapports entre ces espèces fossiles et celles qui vivent actuellement sont si grands que nous ne sortons pas du terrain strictement scientifique en affirmant que nos arbres des régions tempérées viennent du Nord et dérivent directement d'espèces fossiles trouvées sous les hautes latitudes.

« Nous sommes ainsi en mesure d'expliquer la dispersion de nos espèces forestières sur des continents aussi éloignés les uns des autres que l'Europe et l'Amérique. Ces continents se rapprochent tous d'un centre commun, le pôle et les régions les plus voisines de ce centre favorisées à une certaine période d'un climat tempéré, possédaient toutes ces espèces d'arbres. Pendant la période froide qui suivit et qui, sans aucun doute, n'arriva que très graduellement à son point culminant, ces mêmes espèces descendirent peu à peu jusqu'à nos latitudes; et c'est alors que des feuilles, des fruits, des rameaux furent déposés dans les eaux tranquilles et retenus dans les couches sédimentaires désignées sous le nom de Tertiaire miocène. Les géologues en retrouvant des

dépôts identiques dans l'Europe méridionale et au Groënland, les ont baptisés du même nom et les ont regardés comme contemporains. Mais l'identité même des restes fossiles montre qu'ils ne peuvent pas avoir été déposés en même temps, et que les couches miocènes de nos latitudes ont été déposées à un moment où le Groënland avait très probablement, à peu de chose près, le même climat qu'aujourd'hui.

« Notre flore tempérée actuelle, lorsqu'elle habitait les hautes latitudes, était aussi homogène tout le tour du pôle, que l'est aujourd'hui la flore arctique. Ce fait suffit pour expliquer la distribution actuelle de certaines espèces tout le tour du globe et aussi la découverte en Europe des types dits américains. Mais, en même temps, il permet de se rendre compte de la différenciation qui s'est produite entre les différents continents ou entre les différents versants du même continent. A partir d'une époque déjà éloignée les vents, les grands courants océaniques, la configuration générale du continent étaient (au moins en Amérique), à peu près les mêmes que maintenant; par conséquent les espèces prédisposées à supporter des hivers froids, des étés chauds devaient prospérer davantage sur le versant Atlantique des États-Unis, au Japon, dans la Mandchourie; celles qui préféraient les hivers doux se rapprochaient du versant occidental, celles enfin qui ne craignaient pas les fortes sécheresses se multipliaient dans l'intérieur du continent. Ainsi, parmi les nombreuses espèces qui ont été entraînées par une migration commune dans des régions différentes les unes des autres, il s'est opéré un triage à la suite duquel chaque district a conservé celles qui étaient le mieux adaptées à son climat.

« Du reste, la répartition des espèces telle que nous l'avons sous les yeux n'est dans la plupart des cas que le résultat d'une seconde adaptation. La période glaciaire qui, à son début, repoussa la flore tempérée jusque sous nos latitudes a dû, à son point culminant l'entraîner beaucoup plus loin. Les idées des géologues sur la période glaciaire sont trop discordantes pour que nous puissions rien dire de tres positif sur ce point, mais il paraît en tout cas évident que la végétation tempérée a dû être à un moment donné repoussée de l'Europe et de l'Amérique septentrionale ou tout au moins s'y est trouvée réduite à une existence précaire et à des formes rabougries.

« Toutes ces vicissitudes qui ont dû laisser leur empreinte sur la végétation forestière, peuvent nous aider à expliquer la disparition des types américains de l'Europe actuelle. Trois causes me paraissent avoir contribué à ce résultat. Premièrement, l'Europe, qui ne s'étend guère au delà du 40° de latitude, est comprise tout entière dans les limites généralement assignées à l'action glaciaire. Secondement, ses principales chaînes de montagnes dirigées de l'ouest à l'est, forment près de sa limite méridionale une barrière continue, s'étendant des Pyrénées par les Alpes et les Carpathes au Caucase. Ces montagnes devaient avoir des glaciers qui descendaient le long de leur versant septentrional dans la plaine dont les forêts étaient déjà minées par la grande invasion des glaces du Nord; attaquées des deux côtés à la fois, celles-ci ont dû périr sur place. Troisièmement, pour les arbres qui croissaient au midi des montagnes, la mer Méditerranée était là comme une barrière coupant leur ligne de retraite. Quelques arbres particulièrement rustiques ont pu peut-être persister sur la rive septentrionale de la

Méditerranée ou le long de l'Océan Atlantique, mais, sans doute, les Taxodium, Sequoia, Magnolia, Liquidambar, Carya ont disparu. Du côté de l'est, la retraite était probablement coupée aussi, puisque, jusqu'à une période récente, la Méditerranée se prolongeait jusqu'à la mer Caspienne et de là jusqu'à la Sibérie. Si nous admettons les idées de M. Nordenskiöld, qui pense qu'avant l'époque glaciaire l'Europe était bornée au Sud par un Océan qui s'étendait depuis l'Atlantique par le Sahara et l'Asie centrale jusqu'au Pacifique, toute chance était enlevée aux arbres américains qui fuyaient devant la glace de pouvoir sortir de l'Europe et y rentrer par le sud ou par l'orient. L'Europe devait ressembler à cette époque à ce qu'est aujourd'hui le Groënland, auquel, du reste, elle était peut-être jadis réunie. Cette réunion à elle seule suffirait, suivant certains auteurs, en empêchant le Gulf-Stream de pénétrer dans la mer Polaire, pour replonger l'Europe dans la période glaciaire. Le Groënland, en tout cas, peut être cité comme exemple d'un pays qui, ayant supporté un froid extrême, en porte les traces dans la pauvreté de sa flore et dans l'absence des plantes que son extrémité méridionale, dépassant de 6 degrés le cercle polaire, devrait posséder. Elle devrait en particulier avoir des arbres et ceux-ci pourraient y vivre ; mais, depuis leur destruction par la glace, aucune voie ne leur était ouverte par laquelle ils pussent revenir. Ce qui se passe sous nos yeux au Groënland, s'est passé en Europe bien qu'à un moindre degré.

« Si, maintenant, nous tournons nos regards du côté de l'Amérique, nous y trouverons un continent ininterrompu jusqu'au tropique et coupé de montagnes qui toutes courent du nord au sud. Par conséquent, les

arbres lorsqu'ils étaient touchés au Nord par l'invasion du froid, pouvaient s'étendre librement au midi et regagner ensuite le terrain perdu sans aucun obstacle, lorsque la température s'élevait de nouveau. De plus, l'extension plus grande des États-Unis en latitude méridionale leur donnait un nouvel avantage sur l'Europe. Le long de l'Atlantique l'action des glaciers n'a pas dépassé le 40e degré; elle ne s'est même pas étendue aussi loin dans l'intérieur du continent à cause de la chaleur et de la sécheresse des étés, et les Montagnes Rocheuses n'ont eu que des glaciers isolés. Aucune action violente volcanique ou autre n'a depuis modifié la surface du pays ; tout, par conséquent, s'y trouvait réuni pour assurer la richesse de ces forêts.

« La grande variété des essences forestières au nord-est de l'Asie peut également s'expliquer par un ensemble de circonstances favorables, soit pendant la période glaciaire, soit depuis lors. Les arbres de la forêt polaire de l'époque miocène ont trouvé là un terrain très favorable en particulier dans les îles du Japon. Leur situation comparable à celle de la Grande Bretagne avec l'avantage d'une latitude plus basse et d'un soleil plus fréquent, leur grand développement du nord au sud, la vaste étendue de leurs rivages baignés par le courant chaud de l'Océan Pacifique, la distribution régulière de la pluie pendant toute l'année, tout semble conspirer pour maintenir dans cette région les nombreuses espèces qui s'y sont acclimatées jadis.

« Le cas des forêts des États américains du versant Pacifique est remarquable et beaucoup plus difficile à expliquer. Ces forêts sont, nous l'avons déjà dit, la seule station d'un des genres de conifères miocènes les plus caractéristiques et les plus répandus, les Sequoia; elles

renferment, en outre, plus de conifères que toutes les autres régions, à l'exception du Japon. De plus, les empreintes observées dans les graviers aurifères montrent que jusqu'à la période glaciaire, le pays possédait des Magnolia, des hêtres, des ormeaux, un châtaignier, un Liquidambar et d'autres essences qu'on n'y trouve plus aujourd'hui. Toute tentative pour expliquer, d'une part, cette pauvreté dans l'élément ordinairement prédominant des forêts (arbres à feuilles caduques), d'autre part, la richesse relative dans l'élément en général, le moins important (les conifères), nous mènerait trop loin et nous entraînerait sur le terrain de la simple conjecture. Les différents facteurs auxquels on doit peut-être faire appel sont une invasion tardive des glaces [1], les masses énormes de lave qui immédiatement avant la période froide ont couvert une grande partie des forêts, l'étroitesse de cette bande de forêts, la faible quantité et l'irrégularité de la pluie.

Ce sont autant de questions ouvertes auxquelles nous ne sommes pas encore bien préparés à répondre. Tout ce que je désirais faire ici, c'est de montrer que les races d'arbres tout comme la race humaine ont passé par une période préhistorique; que l'explication de l'état de choses actuel doit être cherché dans le passé et dans ses vestiges; qu'enfin pour le règne végétal aussi il existe une véritable archéologie.

[1] Dans une conférence faite à Londres le 12 avril 1868, Sir J. Hooker attache une grande importance à ce point de vue.

RECHERCHES RÉCENTES

SUR

LA CHIMIE SOLAIRE

PAR

M. J.-N. LOCKYER, F. R. S[1]

Les travaux qui se font maintenant dans le champ nouvellement ouvert des études solaires peuvent être aisément divisés en trois branches parfaitement distinctes. La première très importante concerne la détermination exacte de la position de chaque phénomène sur le Soleil. Ceci évidemment comprend un catalogue complet des taches du Soleil qui ont été observées de temps immémorial, et aussi des protubérances solaires qu'on n'a pas eu les moyens d'étudier depuis aussi longtemps. Il est de la plus grande importance que ces données soient accumulées; d'autant plus qu'on a reconnu que, soit dans le cas des taches, soit dans celui des protubérances il y a des périodes déterminées qui pourront avoir dans l'avenir une beaucoup plus grande signification pour nous qu'il ne semble à présent.

Ceci me ramène à la seconde branche du travail qui est celle-ci : — Ces différents cycles des taches et des protubérances ont longtemps occupé l'attention des savants; et un des champs les plus intéressants des recherches modernes, un champ dans lequel il a été déployé une activité considérable pendant ces dernières années est celui des recherches sur la relation qui existe entre ces phénomènes, symp-

[1] Communiqué à la Physical Society, 11 mai 1878. — *Phil. Mag.* S. 5, Vol. 6, N° 36, sept. 1878.

tômes de changements dans le Soleil, et les changements qui se produisent dans notre atmosphère. Le Soleil est le seul élément variable que nous ayons. Si on admet l'ancien point de vue des éléments, nous avons le feu représenté par notre Soleil variable, si du moins notre Soleil est variable, puis la terre, l'air et l'eau qui sont constants. On ne peut donc pas s'étonner de ce que les savants aient rattaché aux changements solaires un grand nombre des éléments variables de la physique terrestre. Cette seconde branche du travail se base évidemment sur ce qui a été fait dans la première, qui traite du nombre (nombre croissant ou décroissant) des taches et des protubérances, et des variations de position de ces phénomènes sur la surface du Soleil. Nous aurons donc comme résultat de ce travail un catalogue complet de toutes les taches ou protubérances sur le Soleil, et le lien existant entre celles-ci et les phénomènes météorologiques variables de notre planète.

Quand nous arrivons à la troisième branche du travail, la plus nouvelle, nous ne trouvons pas les choses en aussi bonnes conditions. Les ouvriers sont trop peu nombreux, et il est à désirer avant tout de voir leur nombre augmenter. Essayer d'étudier la composition chimique du Soleil, même indépendamment des problèmes physiques qui sont et doivent être reliés aux questions chimiques, c'est presque essayer l'impossible à moins que ce travail ne soit entrepris par un grand nombre d'hommes pouvant disposer d'un temps considérable. Si nous pouvons réunir autant d'hommes s'occupant des diverses questions relatives à la composition chimique du Soleil que nous en trouvons dans d'autres branches, je crois que nous pouvons être certains que les progrès futurs de notre connaissance

du Soleil seront associés au progrès d'un grand nombre de problèmes qui jusqu'à présent ne paraissent pas devoir s'y rattacher.

Je dois aujourd'hui me borner à la partie chimique de la question, et je commencerai par en rappeler les traits généraux. Ici comme dans les autres branches de la physique ou de la chimie le progrès dépend beaucoup de l'amélioration des méthodes. La photographie par exemple a fait faire de grands pas à nos connaissances sur la nature chimique du Soleil, et le travail descriptif dont j'ai parlé en premier lieu (qui récapitule les différents phénomènes et leur position) a lui-même été secondé par la photographie. Je ne sais pas si les magnifiques résultats récemment obtenus par le Dr Janssen ont été exposés dans cette Société; mais l'augmentation de la puissance photographique que le Dr Janssen a réalisée est telle que, il y a quelques années, on n'eût pas même pu l'espérer. On peut maintenant enregistrer tous les changements qui surviennent dans le Soleil jusqu'à un degré qu'on a peine à croire. On peut enregistrer fidèlement et suivre d'heure en heure des changements dans le centre du disque solaire, compris dans un espace angulaire de moins d'une seconde.

Un des avantages qui est résulté de l'introduction de ce nouvel appareil, a été la possibilité de faire des relevés à une très grande échelle des raies solaires et des raies métalliques qui doivent leur être comparées. Grâce à la générosité de M. Rutherford, qui construit les plus magnifiques réseaux de réfraction qu'on ait jamais vus et qui les répand à profusion parmi tous les savants, on a maintenant des moyens faciles d'obtenir avec un appareil peu dispendieux un spectre du Soleil à une échelle telle que l'amplification totale du fin rayon de lumière qui passe à travers la fente

donnera un spectre long de 100 mètres: un spectre entier à cette échelle (comme j'espère qu'il sera exécuté une fois, quoique certainement pas de notre temps) de l'ultra-violet, déjà relevé par Mascart et Cornu, jusqu'à l'ultra-rouge qui a été tout récemment pour la première fois mis à notre portée par le capitaine Abney, aura 315 pieds de long.

Ceci est une échelle considérable, mais des travaux récents ont montré que, quelque gigantesque qu'elle soit, elle ne l'est pas plus qu'il n'est nécessaire pour les exigences actuelles de la science. J'ai déjà eu l'occasion d'exposer devant la *Physical Society* plusieurs des méthodes employées pour comparer le spectre du Soleil avec ceux des différents corps élémentaires. Il n'est donc pas nécessaire d'y revenir. Il y en a cependant d'autres qui sont d'une application plus récente et ont une grande importance.

Quand, au lieu de rechercher la coïncidence des raies métalliques, on désire déterminer celles provenant des gaz, la méthode employée jusqu'ici a consisté à renfermer ces gaz dans des tubes de Geissler et à réduire leur pression de manière à rendre les raies plus nettes. Une expérience très simple montre clairement que si l'on fait varier la densité d'une vapeur quelconque, cela change quelquefois considérablement l'épaisseur et l'intensité des raies. Je vais projeter l'image du spectre de la vapeur de sodium dans l'arc voltaïque sur un petit écran et j'espère pouvoir rendre le phénomène visible. Je voudrais faire observer les variations dans l'épaisseur des raies renversées du sodium. L'épaisseur de cette raie d'absorption varie comme on le voit considérablement à chaque tour de la vis qui élève ou abaisse le pôle supérieur.

Le moyen par lequel on a produit cet effet est très simple. La seule chose nécessaire est un arrangement qui permette de changer à volonté la densité de la vapeur de sodium. Quand je la rends aussi dense que possible la raie est très épaisse. Quand elle est beaucoup moins dense la raie est beaucoup plus mince. Si nous avions projeté sur l'écran le spectre d'un gaz (à supposer que cela fût possible de faire voir le spectre d'un gaz à un auditoire), l'équivalent exact de cette expérience aurait été que le spectre gazeux à la pression atmosphérique nous aurait donné la plupart des raies aussi épaisses que celle du sodium quand son épaisseur était à son maximum ; tandis que si nous pouvions rendre le phénomène visible pendant le temps où la pression est diminuée nous constaterions que la raie s'amincirait à mesure que la pression diminuerait. Mais il y a un grand inconvénient à se servir des tubes de Geissler, l'un d'eux, qui est grand, est que le gaz devient beaucoup moins lumineux, quand on diminue la pression.

Voici une méthode qui est excellente en ce qu'elle permet de faire toutes les expériences relatives aux spectres gazeux à la pression atmosphérique et d'obtenir la raie aussi mince qu'on le veut, *non pas en diminuant la pression*, mais en *diminuant la quantité de gaz* dans un mélange. Si nous prenons, par exemple, une étincelle dans de l'air atmosphérique ordinaire et que nous observions son spectre, nous trouvons que les raies des deux gaz qui constituent l'air atmosphérique sont très larges; mais si je veux diminuer les raies, de l'oxygène par exemple, de manière à les rendre assez fines pour que je puisse les photographier (les raies photographiées doivent être fines, afin qu'il soit possible de déterminer leur position exacte),

je fais passer l'étincelle dans un vase de verre muni de deux tubes d'entrée et de sortie. Si je veux observer les raies de l'oxygène fines, j'introduis de l'azote dans le vase jusqu'à ce qu'il n'y ait plus que le 1 °/₀ d'oxygène et j'observe le courant entre les deux électrodes. Si je veux examiner les raies de l'azote, fines, j'ajoute de l'oxygène, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus que 1 °/₀ d'azote. De cette manière, simplement en faisant un mélange dans lequel le gaz à étudier est réduit en quantité, en sorte que les raies que nous voulons examiner soient juste visibles à leur degré maximum d'étroitesse, nous avons un moyen parfait d'atteindre notre but sans aucun appareil nécessitant l'emploi de basses pressions ; et ceux qui ont le plus travaillé avec des tubes de Geissler apprécieront la grande simplification introduite par ce système.

La théorie spectroscopique récemment appliquée aux études sur la composition chimique du Soleil a reçu une autre application importante que voici : Supposons que le spectre d'une substance quelconque n'est pas le spectre pur de cette substance, mais de cette substance à l'état impur comme elle existe généralement.

On trouvera un spectre riche en raies et même, après avoir fait la chose avec beaucoup de soin, on pourra rester convaincu que pour le fer, par exemple, toutes les raies du spectre qui coïncident avec les raies de Fraunhofer représentent dans le cas de chaque raie une coïncidence entre le fer qui est dans le Soleil et le fer que nous avons dans notre laboratoire. Mais plus on poursuit le travail plus on s'aperçoit que les spectres complexes qu'on observe sont en réalité beaucoup plus simples, si on tient compte de toutes les impuretés.

Dans la partie du spectre solaire, par exemple, qui est

reproduite dans la planche exposée nous avons beaucoup de raies du fer ; mais avant qu'on eût employé la méthode bien connue pour déterminer les impuretés, le spectre était beaucoup plus riche qu'il ne l'est maintenant; on en a éliminé environ un quart des raies. Tous les spécimens de fer qui ont servi pour ce travail ont donné les raies du calcium, de l'aluminium et quelques-unes de celles du manganèse et du cobalt; et aucun chimiste ne s'en étonnera. Mais il y a une chose très curieuse qui, je crois, les surprendra.

Dans cette partie du spectre il y avait deux raies qui, par leur épaisseur soit dans le spectre du Soleil, soit dans celui du fer, semblaient appartenir indubitablement au fer; mais des recherches plus approfondies ont conduit à ce résultat extraordinaire qu'une de ces raies a, selon toutes probabilités, son origine dans les vibrations des molécules de tungstène et que l'autre est probablement une raie du molybdène. Le glucinium est un autre métal qu'on peut encore citer à ce propos; et il semble presque impossible d'avoir un échantillon de fer qui ne contienne pas non seulement du calcium et de l'aluminium, mais encore d'autres métaux considérés comme rares sur la terre: tels que le tungstène, le molybdène et le glucinium.

Voici quelles étaient à peu près il y a quelques années nos idées sur l'atmosphère du Soleil au point de vue chimique, idées basées sur les travaux de Kirchhoff, Bunsen, Angström et Thalen et sur les nombreuses données fournies par les récentes éclipses: — Nous avions, dirons-nous, d'abord, une énorme enveloppe d'un gaz quelconque, probablement plus léger que l'hydrogène, dont nous ne savons absolument rien parce que jusqu'ici on n'en a trouvé aucune trace sur notre globe; dans celle-ci nous avions une autre enveloppe, d'hydrogène, dans celle-ci encore une

autre de calcium, puis une autre de magnésium, une autre de sodium, et ensuite une enveloppe complexe nommée couche reversible, dans laquelle nous trouvons tous les métaux du groupe du fer, plus le cadimium, le manganèse, le titane, le barium, etc. L'atmosphère solaire se composait donc, à ce qu'on imaginait, du haut en bas d'une série d'enveloppes, ou plutôt de sphères concentriques de plus en plus petites renfermant chacune un élément nouveau qui vient s'ajouter à ceux qui composaient la partie extérieure des sphères plus grandes ; de manière que la composition de l'atmosphère solaire devient de plus en plus complexe avec la profondeur ; à mesure qu'on s'y enfonce les mêmes éléments se retrouvent, mais d'autres viennent en grand nombre s'y ajouter.

Les travaux récents n'ont, autant que j'ai pu le savoir, en aucune façon renversé ces notions ; mais ils ont ajouté un nombre considérable d'éléments à cette couche reversible. Au lieu de la faire se composer de 14 éléments comme on le faisait alors, on en admet généralement maintenant environ 30.

Les métaux que Kirchhoff, Angström et Thalen, ainsi que la théorie fondée sur la longueur des raies reconnaissent comme faisant partie de l'atmosphère solaire sont ceux-ci :

Na	Fe	Ca	Mg	Ni
Ba	Cu	Zn	Cr	Co
H	Mn	Ti	Al	

On trouvera dans les tableaux qui suivent, ceux qui y ont été ajoutés plus récemment ainsi que l'indication des causes qui rendent probable leur présence dans l'atmosphère solaire.

Il est important de se souvenir que les raies indiquées

dans ces tableaux sont pour la plupart les plus longues qui soient visibles dans la région photographique des spectres respectifs; dans quelques cas l'étude a été limitée à la région 39-40, que j'ai plus particulièrement étudiée; ainsi il faut considérer le fait que ces raies longues sont renversées dans le spectre solaire comme la meilleure preuve qu'on puisse obtenir en faveur de l'existence dans le Soleil des métaux auxquels elles appartiennent.

Cependant s'il n'y a qu'une raie, comme c'est le cas pour Li, Rb, etc; on peut seulement dire pour le moment du moins que la présence de ces métaux dans la couche reversible, est probable. Il ne faut pas oublier non plus que, outre les longues raies qu'un spectre peut contenir dans le rouge, le jaune ou l'orangé, il peut en exister encore dans la partie ultra-violette qui n'a pas été explorée encore; il faut donc évidemment attendre de nouvelles preuves avant de décider définitivement sur la présence ou l'absence de ces métaux dans le Soleil.

Il paraîtra digne de remarque que tandis que les longues raies de métaux tels que le lithium et le rubidium se retrouvent dans les régions photographiques du spectre, les longues raies Li (λ 6705), Rb (λ 6205 et 6296) ont échappé à l'observation.

Tableau I. Métaux dont la présence dans le soleil est certaine.

Nom du métal.	Longueur d'onde approximative des raies renversées dans le spectre solaire.	OBSERVATIONS.	NOM de l'observateur	Particularités des tableaux de Thalén. Métal.	Longueur d'onde.	Intensité. Eclat maxim. 1.
Strontium.	4029.60	Absente du spectre normal, près de la longne raie Mn.	Nouvelle raie.			
	4076.77	Une raie à 4076.9 dans le spectre normal attribuée à Ca.	Thalén.	Sr Ca	4078.5 4077.0	1 3
	4215.00	Attribuée dans le spectre normal à Ca λ 4215.40.	Thalén.	Sr. Ca	4215.3 4215.3	1 1
	4607.50	Raie à 4604.5 attribuée à Ca dans le spectre normal.	Thalén.	Sr Ca	4607.5 4607.5	1 4
Plomb	4019.28	Absente du spectre normal.	Nouvelle raie.			
	4056.80	Voisine de la raie λ = 4057.25 du spectre normal qui n'est encore attribuée à aucun métal.	Thalén.	Pb	4058.0	4
	4061.25	Absente du spectre normal.	Thalén.	Pb	4062.5	4
Cadmium.	4677.00	Raie sans attribution, λ=4676.5 dans le spectre normal.	Thalén. Kirchhoff.	Cd	4676.8	1
	4799.00	Raie sans attribution, λ=4798.9 dans le spectre normal.	Thalen. Kirchhoff.	Cd	4799.0	1
Potassium.	4042.75	Absente du spectre normal.	Nouvelle raie.			
	4046.28	Absente du spectre normal.	Nouvelle raie.			
Cérium.	3928.7	Absente du spectre normal.	Nouvelle raie.			
	4012.0	Absente du spectre normal.	Nouvelle raie.			
Uranium.	3931.0	Absente du spectre normal.	Nouvelle raie.			
	3943.0	Tout près de la raie Al.	Nouvelle raie.			
	3965.8	Absente du spectre normal.	Nouvelle raie.			

TABLEAU II. **Métaux dont la présence dans le soleil est probable.**

Nom du métal.	Longueur d'onde approximative des raies renversées dans le spectre solaire.	OBSERVATIONS.	NOM de l'observateur.	Particularités des tableaux de Thalén. Métal.	Longueur d'onde	Intensité. Eclat maxim. 1.
Vanadium.	3901.3		Nouvelle raie.			
	3909.3		Nouvelle raie.			
	3989.65		Nouvelle raie.			
	3992.5		Nouvelle raie.			
	3997.9		Nouvelle raie.			
	4379.0	Attribuée par Angström à Ca.	Thalén.	Ca Va	4379.1 4379.0	4 1
	4384.0	Absente du tableau d'Angström.	Thalén.	Va	4384.0	1
	4389.0	Attribuée par Angström à Ca.	Thalén.	Ca Va	4389.4 4389.0	4 2
	4407.5	Attribuée par Angström à Ca.	Thalén.	Ca Va	4407.0 4407.5	5 1
Palladium.	3893.0		Nouvelle raie.			
	3958.0		Nouvelle raie.			
	4787.0	Attribuée par Angström à Fe.	Thalén.	Pd Fe	4787.0 4785.8	3 5
	4817.0	Raie à laquelle Angström n'a pas assigné de place.	Thalén.	Pd	4817.0	3
	4874.0	Raie près de la place assignée par Angström à Fe.	Thalén.	Pd	4874.0	3
Molybdène	3902.0	Très près de la raie Fe.	Nouvelle raie.			
	4576.0	Raie à laquelle Angström n'a pas assigné de place.	Nouvelle raie.			
	4706.0	Attribuée par Angström à Fe.	Thalén.	Mo Fe	4706.5 4706.5	4 5
	4730.0	Attribuée par Angström à Fe.	Thalén.	Mo	4730.5	4
	4818.0?	Absente du tableau d'Angström.	Thalén.	Mo	4818.0	4
	4829.0?	Raie près de celle attribuée par Angström à Ni.	Thalén.	Mo Ni Ni	4829.5 4828.4 4830.2	4 5 5

TABLEAU III. **Métaux dont la présence dans le soleil est probable.** (Suite.)

Nom du métal.	Longueur d'onde approximative des raies renversées dans le spectre solaire.	OBSERVATIONS.	NOM de l'observateur.	Particularités des tableaux de Thalén.		
				Métal.	Longueur d'onde	Intensité. Eclat maxim. 1
Indium.	4101.0	Raie coïncidant en apparence avec la raie Fe dans le spectre solaire.	Thalén.	Jn	4101.0	1
	4509.0	Absente du tableau d'Angström.	Thalén.	Jn	4509.5	1
Lithium.	4603.0	La raie dans le tableau d'Angström est placée à λ4601.7 et n'est attribuée à aucun métal.	Thalén.	Li	4602.7	1
Rubidium.	4202.0	La raie dans le tableau d'Angström est placée à 4201.0 et adjacente à la raie Fe.	Thalén.	Rb	4202.0	2
Cæsium.	4554.9	Attribué par Angström à Fe, il n'y a pas de raie dans cette position dans Thalén.	Nouvelle raie.			
	4592.0	Absente du tableau d'Angström	Nouvelle raie.			
Bismuth.	4722.0	Absente du tableau d'Angström.	Thalén.	Bi	4722.0	1
Étain.	4524.0	Cette raie n'est pas dans le spectre normal, on voit la raie voisine Bi à 4524.4.	Thalén.	Sn	4524.0	1
Lauthane.	3948.2	Absente du spectre normal.	Nouvelle raie.			
	3988.0	Absente du spectre normal.	Nouvelle raie.			
	3995.04	Absente du spectre normal.	Nouvelle raie.			
Glucinium.	3904.75	Absente du spectre normal.	Nouvelle raie.			
Yttrium ou Erbium.	3949.6	Absente du spectre normal.	Nouvelle raie.			
	3981.8	Absente du spectre normal.	Nouvelle raie.			

On peut répondre à ceci, que quoique ces raies rouges soient les plus brillantes en apparence pour les yeux il ne s'ensuit pas qu'elles soient les plus longues puisqu'elles sont placées dans une partie du spectre qui affecte l'organe visuel plus fortement que ne le fait la partie photographique. Il serait aussi possible qu'on pût appliquer dans ce cas le raisonnement que j'ai exposé dernièrement à propos du spectre du calcium dans un mémoire communiqué à la Royal Society.

Puisqu'une membrane sensibilisée est affectée plus fortement par certains rayons que par d'autres, il ne serait pas juste de comparer entre elles en déterminant la longueur des raies par la photographie des parties du spectre séparées l'une de l'autre par un trop grand intervalle.

De plus, le fait que ces raies rouges n'ont pas été retrouvées jusqu'ici dans le spectre solaire n'est pas une preuve concluante de leur absence ; d'autant plus que cette partie-là du spectre est beaucoup plus brillante et moins réfrangible, et qu'il faudrait, si on emploie des prismes, un plus fort degré de dispersion, pour rendre visibles les faibles raies obscures qu'on aperçoit facilement dans la partie photographique.

Ainsi donc maintenant, nous savons avec plus ou moins de certitude que plus de trente métaux parmi les cinquante et un que nous connaissons existent dans le Soleil. C'était un fait très remarquable que quoiqu'on eût recherché diligemment des métalloïdes tels que le carbone, le soufre, l'iode, le brome, etc., on n'en avait trouvé aucune trace qui pût donner l'idée qu'ils existassent conjointement avec les métaux dans les zones (enveloppes) dont j'ai parlé.

Il y a quelques années on a trouvé une preuve de l'existence possible des métalloïdes formant un groupe distinct

des métaux; la nature des preuves qui donnaient lieu à cette supposition était celle-ci: Je crois que maintenant, indépendamment des questions relatives à la chimie solaire tous les savants s'accordent à reconnaître que les divers corps élémentaires existent à des états moléculaires différents; si on étudie ces différents états moléculaires au spectroscope on observe des phénomènes spectroscopiques totalement dissemblables. Si nous prenons une grande bobine nous pouvons amener toutes les substances chimiques que nous connaissons, y compris le carbone et le silicium, à un état de groupement moléculaire capable de nous donner un spectre à raies, celui qui nous est le plus familier, quand nous introduisons des métaux ou des sels de métaux dans l'arc voltaïque.

En nous plaçant cependant dans d'autres conditions, c'est-à-dire si nous employons une température moins élevée, ou que nous nous servions de l'électricité de manière à produire la quantité au lieu de la tension, alors ces spectres à raies disparaîtront tout à fait et nous aurons à la place un spectre appelé spectre cannelé. Il sera peut-être utile que je projette un de ces spectres sur l'écran, et que j'indique exactement la différence à laquelle je fais allusion. J'appellerai d'abord votre attention sur un spectre à raies. Ces raies sont dues aux vibrations des molécules du calcium et de l'aluminium. Les cannelures que je projette maintenant sur l'écran sont tout à fait différentes en apparence, elles ont été produites par les vibrations du carbone exactement à la même température que celle à laquelle nous obtenons le spectre à raies de l'aluminium et du calcium.

Tandis que nous obtenions de ces trente-trois métaux des spectres concordant avec les raies de Fraunhofer, la seule preuve (preuve bien douteuse) de l'existence de mé-

talloïdes dans le Soleil se fondait sur le fait que, dans le cas de l'iode et du chlore, on s'est imaginé pouvoir trouver parmi les raies de Fraunhofer dans le spectre du Soleil quelques-uns des espaces cannelés observés dans leurs spectres à de très basses températures. On a recueilli il y a quatre ans une preuve plus concluante pour le cas du carbone. La nature de cette preuve sera suffisamment démontrée si je projette simultanément sur l'écran le spectre du Soleil et celui du carbone. En bas nous avons les cannelures brillantes provenant des vapeurs du carbone; et au-dessus le spectre solaire; cette photographie comprend une partie de l'ultra-violet. Quand cette négative est placée sous une loupe, on voit que la plupart des raies très-fines qui composent les cannelures dans la partie brillante ont leurs équivalents exacts dans les raies de Fraunhofer. C'est la preuve la mieux établie à ma connaissance parmi celles qui semblent indiquer par la coïncidence des raies de Fraunhofer avec leurs spectres qu'il y a vraiment des métalloïdes dans l'atmosphère du Soleil. Le carbone en tous cas existe dans des conditions telles que sa structure moléculaire est beaucoup plus complexe que celle des métaux dans la couche reversible; et il est par conséquent à supposer qu'il se trouve là probablement chassé par l'excessive chaleur des basses régions occupées par la couche reversible, qui est capable, comme nous le savons par d'autres observations, de donner même pour le carbone et la silice le spectre à raies.

Cette branche du travail dont je viens de parler, branche qui nous met à même de pouvoir dire qu'une certaine température doit exister dans telle ou telle région de l'atmosphère solaire, repose principalement sur des questions soulevées par les différences qu'on observe entre certains corps

dans le Soleil, et les mêmes corps dans nos laboratoires. Si par exemple on veut observer la coïncidence entre le fer et le Soleil, on place le fer dans la lampe électrique; on photographie son spectre; à côté de celui-ci on place le spectre du Soleil photographié aussi ; et comme le veut la loi (je dis la loi, mais elle n'est pas absolue dans le cas de métaux tels que le fer) ; l'intensité des raies du fer que nous obtenons dans nos laboratoires est égalée par l'intensité des raies du fer que nous supposons exister dans le spectre du Soleil. C'est ceci qui est le grand argument en faveur de l'existence du fer dans le Soleil. Mais quand nous quittons le groupe des métaux du fer, nous en trouvons d'autres dans lesquels cette coïncidence, cette grande similitude d'intensité d'un bout à l'autre du spectre est considérablement changée. Dans le cas du calcium nous avons des raies très épaisses du calcium qui correspondent à des raies très minces dans le Soleil, et nous avons des raies du calcium très minces qui correspondent à des raies très épaisses dans le Soleil. Et même les deux raies les plus épaisses qui aient été observées dans le spectre du Soleil sont dues au calcium. Si nous photographions le spectre du calcium avec un arc très faible dans une lampe électrique, elles seraient à peine visibles. Si cependant nous passons de la tension de l'arc à la tension qu'on peut obtenir avec une très grande bobine, nous pouvons alors faire correspondre exactement le spectre que nous obtenons artificiellement avec celui que le Soleil nous fournit naturellement ; et plus nous augmentons la tension (plus la bobine et la bouteille que nous employons sont grandes), mieux nous pouvons faire vibrer pour ainsi dire notre calcium en harmonie avec le calcium qui occupe une portion très bien déterminée dans

l'atmosphère du Soleil. Ceci nous donne un enseignement très précieux : Nous savons que les vapeurs du *calcium* occupent telle et telle position dans le Soleil ; nous savons que pour amener les deux apparences spectrales à être en harmonie, comme je l'ai déjà dit, il nous faut employer une bobine très forte ; et nous savons de plus que, si nous employons une grosse bobine d'induction, toutes ces belles cannelures du spectre du *carbone* que nous avons projetées sur l'écran disparaîtront complètement. Cette sorte de carbone n'est plus présente dans la réaction ; mais nous avons à sa place une nouvelle espèce de carbone qui n'est capable de nous donner que des raies brillantes. Enfin nous savons que ces raies brillantes n'existent pas renversées dans le spectre solaire ; par conséquent le carbone doit exister plus haut que le calcium dans une région où la température est plus basse.

Dans ce que j'ai dit jusqu'à présent (et je n'ai fait qu'effleurer très légèrement le côté physique du sujet, parce que je crois que dans l'avenir il sera le plus riche en enseignements du genre de ceux que j'ai indiqués), je dois vous rappeler que je ne me suis occupé que des raies de Fraunhofer. Il y a donc dix ans qu'on sait que si on observe le spectre solaire avec cette dispersion considérable, qui est je crois maintenant indispensable, on voit des raies brillantes dans le spectre solaire ordinaire, à côté des raies obscures.

Je trouve ces paroles dans un mémoire communiqué à la Royal Society en 1868 : — « L'attention a été récemment attirée sur certaines régions brillantes dans le spectre ordinaire. » La position de ces raies brillantes dans le spectre ordinaire fut alors déterminée, et on appela entre autres l'attention sur l'une d'elles entre *b* et F. Je

mentionne celle-là spécialement maintenant parce que le degré de dispersion voulu est aujourd'hui si commun que n'importe qui peut quand le Soleil brille regarder du côté de *b* et voir cette raie lui-même. On la trouvera juste à la même distance de b_4 que b_3, mais de l'autre côté. Cette raie brillante située dans la partie la plus visible du spectre, est exactement semblable à beaucoup d'autres dont quelques-unes sont dans le jaune et quelques autres dans le rouge. J'ai fait dresser avec beaucoup de soin, il y a quelques années, une liste de ces raies; mais je suis fâché de dire que cette liste a été malheureusement perdue par un de mes aides dans un wagon du chemin de fer métropolitain; en tous cas on a assez parlé de ces raies brillantes dans notre pays et dans d'autres pendant les années 1869 et 1870 pour faire espérer que tous ceux qui s'intéressent à la physique solaire ont pu se familiariser tout à fait avec elles. Entre autres choses qui ont attiré l'attention sur leur existence, nous citerons une correspondance au sujet des taches solaires qui a paru dans les *Comptes Rendus* de l'Académie des Sciences de Paris entre le Père Secchi et un autre observateur. J'ai remarqué qu'une grande dispersion est nécessaire pour qu'on puisse voir ces raies brillantes, parce que avec une dispersion faible des parties très brillantes d'un autre genre deviennent très apparentes; cependant quand on augmente la dispersion, on voit que ces régions brillantes dans le spectre solaire tiennent à l'absence des raies fines; et en effet, si on observe le spectre solaire avec une dispersion très forte et à travers un nuage qui empêche de voir les raies fines, on remarque qu'il y a une grande diminution relative dans l'intensité de certaines parties du spectre, et une augmentation relative très considérable

dans d'autres suivant que ces raies très fines sont relativement visibles ou invisibles, et il peut se produire de la sorte un très grand changement dans la partie postérieure du spectre.

Pourtant, quand on emploie une très grande dispersion et qu'on appelle à son aide la photographie avec une exposition suffisamment longue, ces régions brillantes, comparées aux raies brillantes disparaissent complètement. J'ai ici, grâce à l'amabilité de deux amis M. Rutherford et le capitaine Abney, les moyens de vous montrer exactement ce que je veux dire. Pour produire le spectre, je me suis servi d'un réseau de Rutherford contenant 17,000 raies dans un pouce de longueur; et le capitaine Abney a eu la bonté de mettre lui-même pour moi la couche sensible sur la plaque. Il se trouve en effet que les réseaux de M. Rutherford sont d'une puissance si énorme que la finesse de la membrane de collodium est tout à fait dépassée, c'est-à-dire que nous pouvons obtenir à l'aide de ces réseaux parfaits des spectres si excessivement fins et pleins de détails, qu'on peut les grossir jusqu'à ce que la structure du collodium ordinaire devienne visible, nuisant ainsi à la beauté de l'image. Mais si au lieu du procédé ordinaire du collodium on se sert de ceux que le capitaine Abney a employés avec succès, on obtient une membrane sensible qui est aussi parfaite dans son genre que le réseau l'est dans le sien et on peut obtenir le grossissement qu'on veut.

Voici une photographie des raies H, obtenues à l'aide du réseau et de la membrane dont j'ai parlé. Entre les raies H et K où l'œil distingue à peine trois raies, on en connaît maintenant une centaine; et ce fait montre plus clairement qu'aucune parole l'importance de l'introduction

de la méthode photographique pour ces recherches. Dans cette photographie il n'y a pas de raies brillantes; mais la suivante en contient justement une, découverte et soigneusement notée par Cornu, qui a ainsi que Hennessy étudié les raies brillantes du spectre solaire. La raie brillante signalée par Cornu dans son tableau de l'extrémité bleue du spectre solaire est dans ce moment exactement au milieu du champ; mais excepté celle-ci qui est beaucoup plus intense qu'aucune autre partie avoisinante du spectre, il n'existe pas de raie brillante dans cette région.

Dans le courant de l'année dernière le Dr Draper de New-York a publié les premiers résultats de recherches qu'il a entreprises sur les métalloïdes et qui sont tout à fait du même genre que celles qui ont été faites dans notre pays sur les métaux. Le Dr Draper, qui est connu depuis longtemps comme un des savants les plus zélés, a abordé ce sujet avec des ressources instrumentales d'une richesse presque sans précédent; son talent bien connu et son assiduité lui ont permis d'accumuler pendant les deux ou trois années qu'il a poursuivi son travail, des faits de la plus grande importance. Je suis d'autant plus désireux de témoigner ici mon profond respect pour le Dr Draper que j'aurai en parlant de son travail à montrer que selon mon opinion quelques-uns de ses résulats ne sont pas encore parfaitement établis. En premier lieu le Dr Draper revendique la découverte des raies brillantes dont nous avons déjà parlé et il fonde sur elles une nouvelle théorie. Je le regrette, quoique je ne tienne pas beaucoup à la priorité, car je considère que si le Dr Draper avait eu sous les yeux, lorsqu'il a écrit son mémoire, la littérature très considérable (mémoires de Young, Cornu, Hennessy,

Secchi et d'autres) qui a été publiée au sujet de ces raies brillantes, la nécessité d'une nouvelle théorie sur le spectre solaire, qui sans doute lui a coûté beaucoup d'efforts de pensée, lui eût paru moins évidente.

Le Dr Draper a eu la bonté de m'envoyer il y a quelque temps une photographie du spectre solaire comparé aux raies de l'oxygène ; cette photographie a pour but de démontrer qu'un très grand nombre des raies de l'oxygène coïncident avec des raies brillantes du spectre solaire. Je vais projeter la photographie sur l'écran afin que nous soyons tous à même de juger. La partie inférieure de la photographie nous donne les raies de l'oxygène ; celle du milieu la photographie du Soleil faite par le Dr Draper ; et la partie supérieure une photographie du Soleil prise en Angleterre, que j'ai mise à côté de celle du Dr Draper pour qu'on puisse juger du contraste entre les deux.

Si on examine la photographie supérieure avec un fort grossissement, les détails ressortent merveilleusement, et on voit qu'entre les raies plus marquées le spectre est couvert de raies extrêmement fines dans les régions où la photographie du Dr Draper ne montre qu'une structure à côtes qui, je le crains, n'est pas due au spectre solaire du tout. Avec les réseaux de verre argenté de M. Rutherford qui présentent les rayures sur la surface postérieure du verre, et par suite de la double transmission de la lumière à travers la plaque, il se produit une grande quantité de bandes de Talbot ; de sorte que le spectre solaire est dans quelques parties entièrement caché et absolument transformé. Certaines raies disparaissent ; d'autres semblent se produire ; en sorte que si l'on veut comparer une partie du spectre donné par un de ces réseaux de verre argenté avec un spectre ordinaire de réfraction, il

faut le faire avec les plus grandes précautions. Et je ne crois pas exagérer en disant qu'il faut user d'une grande circonspection pour déterminer la place de toutes les raies inférieures au troisième ou quatrième degré d'intensité, quand on se sert de ces réseaux. Cela est si bien connu de M. Rutherford lui-même, qu'il distribue maintenant avec la même générosité, des réseaux contenant le même nombre de raies par pouce (17,300 environ) tracées non plus sur verre mais sur le métal à miroirs, afin de parer à ces défauts.

Pour ce qui est de ce travail du Dr Draper, j'estime donc d'abord que la photographie d'après laquelle ces comparaisons avec les raies de l'oxygène ont été faites n'est pas suffisante pour décider une question aussi extrêmement importante. De plus, en examinant ces raies de l'oxygène, je ne trouve pas la coïncidence dont il parle entre les raies solaires brillantes et les raies de l'oxygène, dans la partie du spectre qui m'est la plus familière, par la raison qu'il n'y a pas de raies brillantes d'aucune espèce dans cette portion du spectre. J'ai ici des grossissements de négatives qui me donnent presque tout l'espace compris entre G et H, qui est une des régions représentées dans la photographie du Dr Draper ; j'ai parcouru soigneusement raie par raie cette région et dans aucun cas je n'ai vu une raie brillante quelconque dans le Soleil coïncider avec une raie quelconque de l'oxygène.

Je ne prétends pas avoir étudié à fond l'ultra-violet; mais cela me semblerait très surprenant en vérité si en allant plus loin, et en étendant cet examen à l'intervalle des raies H et K qui ont déjà été projetées sur l'écran, le Dr Draper pouvait y trouver quelque coïncidence avec les raies brillantes du Soleil, car lorsque les conditions in-

strumentales dans lesquelles on opère sont parfaites il n'existe aucune raie brillante dans la portion du spectre solaire contenue dans ce tableau.

. La raie brillante découverte par Cornu est située au-delà de K; mais entre la région contenue dans ce tableau et les raies G je ne trouve aucune raie bien marquée.

Voici une expérience qui peut être faite par tous les membres de la Physical Society qui possèdent un spectroscope à trois ou quatre prismes. Prenez une étincelle à l'air libre, employez un prisme de comparaison, saturez d'azote l'air qui enveloppe l'étincelle suivant le procédé que j'ai indiqué plus haut, et visez le spectre de cette étincelle dans le voisinage de la raie *b*, où se trouve la raie brillante la plus marquée du spectre solaire, vous verrez trois ou quatre raies appartenant à l'oxygène. J'ai fait cette expérience qui est très simple; et je n'ai pas trouvé de coïncidence dans cette partie-là du spectre entre aucune de ces raies de l'oxygène et les raies brillantes qui s'y trouvent. Je nai pas encore fait cet examen dans les parties inférieures du spectre, dans le rouge et le jaune, parce que j'espère que le Dr Draper l'essayera lui-même.

Je ne conteste pas d'une manière absolue la découverte du Dr Draper; je dis seulement (et je crois que c'est mon devoir de le dire, puisque je me suis occupé depuis très longtemps d'un sujet intimement lié à celui-là) que je ne la tiens pas pour établie.

Je ne doute pas que le Dr Draper ne revoie son travail avec soin lui-même; et je suis sûr qu'il sera le tout premier à éprouver de la satisfaction de ce que j'ai dit aujourd'hui, car son désir est, j'en suis certain, celui de tout vrai savant, que la vérité prévale. En tous cas le Dr Draper en

commençant des recherches chimiques sur les questions solaires a entrepris un travail dans une branche qui a été jusqu'ici fort négligée; et nous devons tous lui en être reconnaissants. Je suis convaincu, en tout cas, d'être d'accord avec lui en exprimant ici le vœu que la Physical Society de Londres et les Physical Societies d'Amérique se mettent en avant et fournissent à l'avenir plus d'ouvriers pour faire avancer une branche de la Science destinée, j'en suis sûr, à prendre une importance très considérable dans l'avenir.

OBSERVATION

D'UN CAS DE MIGRATION DES CARPES

(Lettre de M. A. Bartholoni à M. Raoul Pictet).

Château de Coudrée (Haute-Savoie),
5 septembre 1878.

Dans le courant du mois de juillet, vers les cinq heures du soir, je me trouvais arrêté au bord d'un marais, ordinairement fermé par la grève du lac, mais qu'une irruption des eaux du Foron, arrivée au mois de mai, avait profondément ouvert sur une largeur de quatre à cinq mètres.

La bise soufflait violemment depuis la veille et tendait de minute en minute à combler la communication ouverte entre le lac et le marais, la grève était presque reformée, et à ce point que les vagues venaient déferler sur elle en se brisant, la couvrant alors d'eau et d'écume, mais la laissant à sec dans l'intervalle de chaque lame. J'allais me retirer, lorsque j'aperçus une certaine agitation à l'extrémité du marais touchant à la grève du lac, et je vis apparaître, à différentes reprises, une grosse tête noire s'élevant au-dessus des eaux ; ma première pensée fut que c'était une loutre se livrant à la chasse des nombreux poissons contenus en été dans ce marais communiquant avec le lac par l'irruption violente du Foron, et je regrettais mon fusil, lorsqu'au bout de quelques secondes, je vis l'animal que j'avais cru deviner passer dans le lac

avec une grosse vague qui s'en retournait après avoir déferlé.

Quelques instants après, je vis un autre animal de moindre dimension essayer la même évolution, mais moins heureusement, car la vague s'était retirée, et sur la grève gisait une carpe de quatre à cinq livres, sur laquelle je me précipitai sans merci. Mon poisson se servant de sa queue faisait ce que j'avais entendu appeler *des sauts de carpe* et m'échappait avec une vitesse incroyable, traversant ainsi une grève, à la vérité à fleur d'eau, mais d'une largeur d'un mètre au moins.

Ce spectacle m'intéressait infiniment, et je le prolongeai jusqu'à l'heure de mon dîner, voyant encore passer devant mes yeux cinq carpes de différentes grosseurs.

Lorsque j'abandonnai le marais, la fermeture était complète, la grève s'était élevée sous l'effort de la vague et une véritable barrière existait entre l'étang et le lac.

J'ai dû m'expliquer la migration curieuse de carpes à laquelle j'ai assisté par le fait de l'instinct de ces animaux les avertissant que le marais allait se trouver fermé ; mais ce qui m'a absolument intéressé, c'est cette faculté de la carpe, dont j'avais entendu parler, de se mouvoir sur la terre, et par suite, de la traverser sur une petite étendue, quittant ainsi le marais et regagnant le lac à travers la grève.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

ASTRONOMIE.

Cleveland Abbe. — Notice sur un météore lumineux observé aux États-Unis d'Amérique.

Un remarquable météore a paru, la veille de Noël 1873, près de la côte orientale des États-Unis d'Amérique, entre les parallèles de Philadelphie et de Washington ; et un Comité de la Société philosophique de cette dernière ville a été chargé de recueillir des informations à ce sujet.

Ce Comité, composé de MM. Pierre Parker, Cleveland Abbe et W. Nicholson, a communiqué, en avril 1877, à la Société de Washington, le résultat de son travail, qui a été publié en une brochure in-8° de 22 pages, accompagnée d'une carte de la région où le météore a été observé.

La plus grande partie de cette brochure se compose d'un extrait des renseignements obtenus de 49 observateurs du dit météore, la plupart répartis dans la région comprise entre les États de Pensylvanie et de Virginie. Leurs renseignements ont été généralement obtenus dès 1874; ce qui a retardé le rapport à la Société philosophique a été le désir du Comité de s'assurer si, après la disparition du météore au-dessus du comté de Fairfax en Virginie, on en avait trouvé quelques fragments tombés sur le sol dans le voisinage : mais on n'en a point trouvé.

Le météore a paru le 24 décembre 1873, vers 7 h. 39 m. du soir, en temps moyen de Washington. Son explosion a été entendue 3 minutes après dans la même ville.

Son éclat a paru, à presque tous les observateurs, surpasser celui de la pleine lune. Le corps propre du météore avait

une forme conique, avec une courte queue par derrière. Sa couleur était un jaune brillant, mais les étincelles ou flammes qui s'en détachaient étaient rouges et bleues.

Il est entré dans l'atmosphère en un point situé verticalement au-dessus de la partie septentrionale de l'État de Delaware. Sa hauteur apparente, vue de Danbury en Connecticut, était alors de 30 degrés, tandis qu'elle était de 45 degrés à Washington du côté opposé, ce qui, pour une distance de 216 milles anglais entre les deux stations, donne pour sa hauteur réelle, au-dessus de la surface de la terre, environ 90 milles (le mille anglais étant de 1609 $^1/_3$ mètres).

De ce point, il s'est dirigé au sud-ouest, jusqu'un peu au delà du comté de Fairfax en Virginie, où il a disparu, sa hauteur étant alors d'environ 20 milles au-dessus de la surface terrestre.

Sa plus grande proximité de la cité de Washington peut être approximativement déterminée par le temps qui s'est écoulé entre l'apparition du phénomène et le bruit de son explosion. Cet intervalle de temps a été de 145 à 150 secondes, et il correspond à une distance de 30 à 31 milles.

Le Comité est disposé à considérer ce qu'on a nommé l'explosion, et le grondement subséquent, comme n'étant pas dus à une explosion proprement dite du météore, mais comme étant le résultat de la concentration, dans l'oreille de l'observateur, d'un vaste volume de son, émané presque simultanément d'une grande partie de la trajectoire qu'il a parcourue.

Les observateurs à Washington ont estimé les dimensions du météore conique de 75 minutes de degré en longueur et de 45 en largeur; l'irradiation peut y avoir quelque part, mais cela correspond à 3400 et à 2000 pieds anglais. Ils ne croient pas qu'il soit nécessaire d'admettre un corps solide de ces dimensions, et ils pensent que la partie solide peut en être fort petite, le même effet visible pouvant être produit par un nuage formé de fort petites particules météoriques brillantes, se mouvant très rapidement.

On peut présumer que le météore a décrit, dans sa course visible, environ 120 milles en 3 ou 5 secondes de temps.

Le Comité exprime le regret du défaut de précision scientifique qui existe dans les renseignements qu'il a recueillis sur la trajectoire et les dimensions de ce météore. Son apparition inattendue et sa prompte disparition rendent ce genre d'observations difficile et imparfait. Mais on n'en doit pas moins de la reconnaissance aux savants qui se chargent de rassembler et de coordonner les matériaux d'une enquête de cette espèce. M. Cleveland Abbe, directeur actuel de l'observatoire de Cincinnati dans l'État d'Ohio, paraît être celui des membres du Comité qui s'est occupé le plus activement de la présente recherche. Le numéro du 26 septembre du journal anglais *Nature* contient une notice sommaire sur le résultat des travaux du Comité. A. G.

Dr RODOLPHE WOLF. COMMUNICATIONS ASTRONOMIQUES.— (*Astronomische Mittheilungen*, nos 46 et 47).

M. le professeur Wolf, directeur de l'Observatoire fédéral de Zurich, a déjà publié, en mars et en juillet 1878, deux nouveaux numéros de ses *Communications astronomiques;* et je dois en présenter ici une analyse sommaire, pour faire suite à celle que j'ai donnée des deux précédents, dans le cahier d'avril dernier de nos *Archives*.

La plus grande partie du n° 46, qui a 45 pages in-8°, est consacrée à un examen approfondi de la coïncidence de la période des taches du soleil, d'environ onze ans, déterminée par M. Wolf, avec celle des variations de la déclinaison de l'aiguille aimantée.

Ce travail a été occasionné par la publication, dans les Transactions de la Société royale d'Edimbourg, d'un mémoire de M. John Allan Broun sur le même sujet, dans lequel il arrive à une valeur de 10,45 années pour la période des variations magnétiques. Or M. Faye, dans un article *Sur la météorologie cosmique*, inséré dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* pour 1878, tout en admettant la période de

M. Wolf pour les taches du soleil, et rendant pleine justice à ses recherches persévérantes sur ce sujet, a cru devoir adopter la période de M. Broun sur les variations magnétiques, et en a conclu (page 650 de l'*Annuaire*), que les deux phénomènes n'ont aucun rapport entre eux.

M. Wolf, après avoir exposé en détail les observations des taches du soleil, en 1877, faites par lui, par ses deux adjoints et par d'autres astronomes, observations indiquant qu'il y a eu un *minimum* de taches en 1876, reprend l'examen successif des périodes de l'un et l'autre de ces éléments, et, après une discussion très détaillée et fort savante, en déduit la confirmation de l'identité de leurs périodes, d'après l'ensemble des observations respectives recueillies par lui.

La moyenne générale qu'il obtient pour la période des taches est, en années : 11,11 ± 0,31, et celle des variations magnétiques : 11,14 ± 0,22 ; la différence est, comme on le voit, presque insensible.

Pour l'un et l'autre de ces éléments, la comparaison des époques de *maximum* se rapproche plus de la valeur moyenne générale que celles de *minimum ;* et les différences de l'un des éléments à l'autre sont moindres que celles correspondant aux seules variations magnétiques.

M. Wolf a obtenu, depuis plusieurs années, une importante confirmation de la connexité des deux phénomènes, en montrant qu'il peut, d'après la marche de la période des taches, annoncer à l'avance, à peu de chose près, quelle aura été, à la même époque, le chiffre de la variation magnétique annuelle, dans les stations où on la détermine directement, telles que Prague, Christiania, Munich et Milan.

Le n° 47 des *Mittheilungen* est principalement relatif à un tout autre sujet. M. Wolf avait exposé, dans le n° 44, le résultat d'une nouvelle détermination de la latitude de son Observatoire, effectuée à l'aide d'observations de distances zénitales faites avec un cercle-méridien de Kern de 18 pouces de diamètre. Il a pensé qu'il y aurait quelque intérêt à obtenir encore une évaluation du même élément astronomique, au moyen d'observations faites avec un autre instrument et un autre observateur, et il a chargé l'un de ses adjoints,

M. Alfred Wolfer, de faire ce travail, avec le cercle-méridien d'Ertel de l'Observatoire de Zurich, de 18 $^1/_2$ pouces de diamètre.

M. Wolfer a fait usage des positions apparentes de 116 des étoiles rapportées dans le *Nautical Almanac* et a obtenu en tout 2089 séries de leurs distances au zénith de Zurich soit dans la position normale de la lunette, soit en y échangeant les positions de l'oculaire et de l'objectif. Il a déterminé ensuite les petites corrections à effectuer à ces observations, à peu près de la même manière que l'avait fait M. Wolf dans son précédent travail. Les éléments en sont rapportés dans deux tableaux, et le résultat final obtenu par M. Wolfer donne pour la latitude de l'Observatoire de Zurich : 47° 22′ 39″,795 ± 0″,003 ; valeur inférieure seulement de 0″,196 à celle déterminée par M. Wolf. Celui-ci est disposé à attribuer cette légère différence à un effet d'équation personnelle, et il se propose d'en faire l'objet d'un examen ultérieur.

Les dernières pages de ce Fascicule renferment la continuation du catalogue des objets divers appartenant à l'Observatoire de Zurich, et provenant en grande partie de dons de son directeur.

Les n°s 2193 et 2217 des *Astronomische Nachrichten* contiennent de courtes analyses des deux dernières communications de M. Wolf.

Je ne dois pas omettre de citer une autre publication de cet astronome, qu'il poursuit depuis plusieurs années dans le journal trimestriel de la Société de physique de Zurich : c'est la correspondance qu'a soutenue pendant sa vie le professeur Jean-Gaspard Horner, astronome de l'expédition russe autour du monde commandée par le capitaine Krusenstern, soit avec ce navigateur, soit avec un grand nombre d'autres savants, tels que le Baron de Zach, Benzenberg, Nicolas Fuss, Bohnenberger, Repsold père et fils, Brandes, Scherer, Trechsel, W. Struve, Schumacher, Muncke, Buzengeiger, etc. Cette correspondance, qui s'étend de 1799 à 1832, deux ans avant la mort de l'astronome zurichois, contient de fort intéressants documents sur la vie et les travaux de ces savants. A. G.

CHIMIE

R. Meyer. — Analyse de la source minérale Tenniger Bad dans le Somvixer Tobel. Grisons. (*Berichte*, d. d. Ch. Gesellschaft, XI, 1521, Coire.)

Cette eau a une température de 14°,3; elle est neutre, douce, sans odeur, mais si on la concentre elle prend une réaction alcaline, 10 kil. de cette eau renferment :

Chlorure de sodium...........	0,00816 gr.
Sulfate de potasse............	0,09844 »
Sulfate de soude...............	0,18421 »
Sulfate d'ammoniaque.........	0,06943 »
Sulfate de chaux...............	18,56675 »
Sulfate de strontiane..........	0,16965 »
Sulfate de magnésie......... .	3,42834 »
Carbonate de chaux...........	1,29236 »
Carbonate de fer...............	0,00259 »
Alumine et acide phosphorique.	0,00076 »
Silice........................	0,19803 »
Subtsances organiques.........	1,11298 »
Plomb, cuivre, arsenic	
Acide nitrique	traces
Acide carbonique libre	0,57896 »

E.-A. Grete. — Dosage de l'acide nitrique a l'état d'ammoniaque. (*Berichte*, XI, 1557, Zurich.)

Jusqu'à présent, on n'avait pas réussi à réduire l'acide nitrique complètement en ammoniaque. Grete y a réussi, en employant de la chaux sodée, mélangée de xanthogénate de potasse; l'azote du nitrate de potasse est entièrement réduit. Il continue ses recherches en les étendant aux combinaisons organiques nitrées.

E.-A. Grete. — Analyse de substances organiques azotées. (*Berichte*, XI, 1558. Zurich.)

Au lieu de chercher à pulvériser les matières à analyser comme la corne, la laine, le cuir, etc., il dissout dans l'acide sulfurique concentré, puis sature par la chaux sodée, et dose l'azote suivant la méthode qui précède.

W. Zorn. — Combinaisons diazoïques de la série grasse. (*Berichte*, XI, 1630, Zurich.)

En traitant l'iodure d'éthyle par le nitrosyle d'argent AgNO, l'auteur obtient une huile insoluble dans l'eau, éminement explosible, qui a pour formule $2(C_2H_5NO)$ et comme constitution $(C_2H_5—O—N{=}N—O—C_2H_5$; en effet, par la réduction on obtient de l'azote et de l'alcool, et par l'action de l'eau, de l'alcool, de l'aldéhyde et de l'azote; l'auteur propose d'appeler ce corps diazoæthoxan.

Lunge.—Préparation de l'acide nitreux. (*Berichte*, XI, 1641. Zurich.)

La concentration de l'acide nitrique employé est de la plus haute importance; par contre, l'agent réducteur est indifférent, on peut prendre de l'acide arsénieux ou de l'amidon. L'acide qui donne les meilleurs résultats est celui qui a une densité de 1,30 à 1,35 à 25°. Si l'acide est moins concentré, on obtient surtout NO et si l'acide est très concentré on n'obtient plus du tout de NO, mais de fortes proportions de N_2O_4 à côté de volumes décroissants de N_2O_3.

C. Græbe. — Bleu d'alizarine. (*Berichte*, XI, 1646. Zurich.)

En réduisant le bleu d'alizarine par la poussière de zinc,

Græbe a obtenu une base qui a pour formule $C_{17}H_{11}N$, donc la formule empirique du bleu est $C_{17}H_9NO_4$, et la réaction qui lui donne naissance est :

$$\underset{\text{nitroalizarine}}{C_{14}H_7O_4(NO_2)} + \underset{\text{glycérine}}{C_3H_8O_2} = C_{17}H_9NO_4 3H_2O + 2O$$

La base $C_{17}H_{11}N$ cristallise sous forme de feuilles; elle est soluble dans l'alcool avec une fluorescence bleue, insoluble dans l'eau. Les sels sont d'un jaune d'or et leurs dissolutions présentent une fluorescence verte intense. La densité de vapeur en a été prise au moyen de pentasulfure de phosphore et a été trouvée de 8,15 et 8,23 au lieu de 7,93.

Th. Diehl et V. Merz. — Sur l'acide naphtopicrique et quelques dérivés. (*Berichte*, XI, 1661, Zurich.)

Diehl et Merz préparent l'acide naphtopicrique en traitant 1 partie de dinitronaphtol suspendu dans 10-15 parties d'acide sulfurique concentré, par 1-5 parties d'acide nitrique fumant de plus que la théorie ne le demande et dissout dans de l'acide sulfurique. L'opération se fait à froid et on laisse le mélange à lui-même pendant dix jours, en remuant fréquemment ; le rendement est de plus de 80 %. Cet acide réduit par l'étain et l'acide chlorhydrique, puis traité par l'hydrogène sulfuré à chaud et enfin par le chlorure de fer donne l'amido-diimidonaphtol $C_{10}H_4N_2H_2\genfrac{}{}{0pt}{}{OH}{NH_2}$ dont le chlorure cristallise en feuilles douées d'un éclat métallique vert foncé, la dissolution en est rouge foncé et teint la laine en brun-rouge, ainsi que la soie. Le chromate et le sel de platine ont été préparés et analysés. L'amido-diimidonaphtol est précipité de ses sels par une base sous forme de fines aiguilles d'un brun-rouge bien solubles dans l'alcool à chaud.

On obtient le chlorhydrate de triamidonaphtol en réduisant l'acide naphtopicrique par l'étain et l'acide chlorhydrique

et après avoir précipité l'étain par l'hydrogène sulfuré on concentre en faisant passer un courant d'H_2S.

Tous les essais faits pour obtenir de ces deux substances une dioxynaphtoquinone n'ont pas conduit au but. On obtient toujours des corps renfermant encore de l'azote. Par l'oxydation au moyen de permanganate de potasse, on obtient de l'acide oxalique et de l'acide nitrophtalique. Ce qui indique que la constitution du trinitronaphtol est

$$(H_3NO_2)C_4{=}C_2{=}C_4[(NO_2)_2OH.H].$$

J. Annaheim.— Sur la tetranitroxysulfobenzide. (*Berichte*, XI, 1668. Winterthur.)

Si l'on traite la dinitroxysulfobenzide par l'acide nitrique, on obtient la tetranitroxysulfobenzide qui est soluble dans l'eau chaude d'où elle cristallise sous forme d'aiguilles jaunes fusibles à 253°, d'un goût très amer, c'est un acide. Il se dissout dans l'acide acétique et forme une combinaison qui se détruit à 130°, ce n'est d'ailleurs pas un dérivé acétylé.

A. Rossel. (Dr). — Les formules de la chimie moderne. (Wintherthur, 1878.)

Cette brochure donne en quelques pages un résumé clair et succinct des principes sur lesquels repose l'établissement des formules chimiques telles qu'elles sont employées par la science moderne et explique comment ces formules indiquent la constitution des différentes combinaisons chimiques; il est surtout destiné aux industriels qui sont encore habitués aux anciennes formules.

R. Meyer. — Introduction des groupes hydroxyles dans une molécule par oxydation (*Berichte*, XI, 1787, Coire.)

R. Meyer s'appuie sur ce fait qu'en oxydant l'acide cuminique par le permanganate de potasse en dissolution alcaline, il a obtenu de l'acide oxypropylbenzoïque, pour émettre l'idée que cette réaction pourrait peut-être être générale pour tous les corps qui donneraient par cette introduction d'un hydroxyle un alcool tertiaire. Il a soumis à cette réaction l'acide isobutyrique et a obtenu en effet de l'acide isooxybutyrique; il continue ses recherches, soit dans la série grasse, soit dans la série aromatique.

A propos de ces expériences, il a remarqué que l'isobutyrate de zinc est moins soluble à chaud qu'à froid, tandis que le butyrate de zinc normal n'est guère plus soluble à 100° qu'à 0°.

R. Meyer, et J. Rosicki. — Acide oxypropylbenzoique et ses dérivés. (*Berichte*, XI, 1790, Coire.)

L'acide oxypropylbenzoïque est obtenu par l'oxydation du cuminol au moyen du permanganate de potasse en dissolution alcaline et à froid, l'acide cuminique obtenu est de nouveau oxydé par le permanganate de potasse à chaud. Le sel de chaux a pour formule 2 $(C_{10}H_{11}O_3)_2$ $Ca+5H_2O$, le sel de baryte $(C_{10}H_{11}O_3)_2Ba+H_2O$; ils sont tous deux facilement solubles dans l'eau; le sel d'argent est 4 $C_{10}H_{11}AgO_3+H_2O$; le sel de cuivre $(C_{10}H_{11}O_3)_2Cu+3\ H_2O$. Si l'on fait bouillir l'acide oxypropylbenzoïque avec de l'acide chlorhydrique on obtient un nouvel acide fusible à 160-161° très peu soluble dans l'eau même à chaud et qui se forme par perte d'eau, suivant la réaction $C_6H_4{}^{COOH}_{C_3H_6}OH=H_2O+C_6H_4{}^{COOH}_{C_3H_5}$, on pourra appeler ce nouvel acide acide propenylbenzoïque; l'éther méthylique de cet acide fond à 53° et bout vers 254°

A. de Planta-Reichnau. — Analyses des sources minérales Passugg, Solis et Tiefenkasten dans les Grisons. (*Berichte*, XI, 1793, Coire.)

Ces eaux sont surtout riches en carbonate de soude et acide carbonique libre.

La source d'Ulricus se rapproche comme composition des eaux de Vichy, d'Ems et de Teplitz, elle renferme surtout du carbonate de soude, du chlorure de sodium et des sulfates alcalins.

La source ferrugineuse de Passugg se rapproche de celles de Tarasp, Saint-Moritz, Spa, etc.

La source iodée de Donatus se place comme composition entre celles de Franzensbad à Karlsbad et celles de Marienbader Kreuzbrunnen, enfin, la source Tiefenkastener, St-Petersquelle renferme en outre des sulfates alcalins, du sel et du fer.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

sous la direction de

M. le prof. E. PLANTAMOUR

PENDANT LE MOIS D'OCTOBRE 1878.

Le 2, faible rosée le matin ; depuis midi jusqu'au soir forte bise.
4, brouillard le matin jusqu'à 10 heures.
5, brouillard le matin jusqu'à 9 h.
6, léger brouillard le matin.
7, brouillard le matin de bonne heure, pluie depuis 9 h.
10, forte rosée le matin.
13, forte bise tout le jour.
16, brouillard le matin jusqu'à 9 h.
17, brouillard le matin jusqu'à 10 h.
18, à $8^1/_4$ h. du soir éclairs et tonnerres.
22, très forte pluie dans la nuit du 21 au 22.
24, rosée le matin; fort vent du SSO. depuis midi.
25, violent orage dans la soirée ; de $5^3/_4$ à $8^1/_2$ h. les décharges électriques, aussi fortes que dans un orage d'été, se succédaient à de courts intervalles, très fortes averses mêlées d'un peu de grêle.
26, la première neige de la saison est tombée pendant la nuit sur toutes les montagnes des environs.
30, il a neigé dans la nuit précédente jusqu'au pied du grand Salève, et à 2 h. après midi il y a eu une bourrasque de neige dans la plaine.
31, le matin, première gelée blanche de la saison; le minimum est descendu également la première fois au-dessous de 0.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM.	mm	MINIMUM.	mm
Le 3 à 8 h. matin	733,32	Le 8 à midi..................	720,32
12 à 10 h. matin	731,98	14 à 4 h. après midi.....	723,07
16 à 10 h. matin...........	729,46	18 à 4 h. après midi......	719,01
20 à 8 h. matin	725,83	22 à 4 h. après midi......	718,11
23 à 10 h. soir	727,37	25 à 4 h. après midi......	715,46
25 à 10 h. soir	720,85	27 à midi	715,63
29 à midi	725,32	30 à 6 h. matin	720,18
31 à 10 h. soir	727,13		

Jours du mois.	Baromètre. Hauteur moy. des 24 h.	Baromètre. Écart avec la hauteur normale	Température C. Moyenne des 24 heures	Température C. Écart avec la temp. normale	Température C. Minim.	Température C. Maxim.	Tension de la vap. Moy. des 24 h.	Tension de la vap. Écart avec la tension normale.	Fract. de saturation en millièmes. Moy. des 24 h.	Fract. de saturation. Écart avec la fraction norm.	Fract. de saturation. Minim.	Fract. de saturation. Maxim.	Pluie ou neige. Eau tomb. d. les 24 h.	Pluie ou neige. Nomb. d'h.	Vent dominant.	Clarté moy. du Ciel.	Temp. du Rhône. Midi.	Temp. du Rhône. Écart avec la temp. normale.	Limnimètre à 11 h.
	millim.	millim.	0	0	0	0	millim.	millim.					mm.				0	0	cm
1	728,64	+ 1,78	+16,13	+ 3,72	+12,2	+20,8	8,08	—0,63	616	—191	450	790	...	...	SO. 1	0,39	16,4	+ 0,7	160,4
2	730,96	+ 4,13	+13,15	+ 0,91	+10,0	+17,3	7,86	—0,78	707	—102	550	810	...	...	NNE. 2	0,39	16,3	+ 0,7	159,0
3	732,34	+ 5,55	+12,09	+ 0,01	+ 9,7	+17,0	8,93	+0,36	849	+ 39	720	950	...	...	NE. 1	0,42	16,1	+ 0,7	156,5
4	731,85	+ 5,09	+11,63	— 0,28	+ 7,1	+17,1	9,26	+0,76	895	+ 83	690	1000	...	...	N. 1	0,44	16,0	+ 0,7	151,8
5	731,97	+ 5,24	+11,45	— 0,29	+ 5,2	+17,0	9,19	+0,76	885	+ 72	680	990	...	...	variable	0,22	15,9	+ 0,7	147,2
6	729,20	+ 2,51	+12,30	+ 0,73	+ 5,4	+18,3	9,70	+1,34	875	+ 61	640	1000	...	...	NE. 1	0,60	...	.....	145,0
7	726,82	+ 0,17	+12,19	+ 0,79	+ 9,2	+16,7	9,33	+1,05	886	+ 71	710	1000	5,5	4	SSO. 1	0,68	15,8	+ 0,8	135,5
8	721,55	— 5,08	+10,63	— 0,60	+ 7,3	+13,0	9,59	+1,38	993	+176	930	1000	20,0	17	variable	1,00	15,7	+ 0,9	137,5
9	725,28	— 1,32	+12,76	+ 1,71	+ 9,9	+19,1	9,23	+1,10	849	+ 31	630	980	...	...	variable	0,43	15,6	+ 0,9	137,0
10	725,97	— 0,60	+10,98	+ 0,10	+ 6,6	+14,3	8,55	+0,49	859	+ 40	690	950	8,3	7	SSO. 1	0,97	15,6	+ 1,0	139,1
11	730,73	+ 4,19	+11,88	+ 1,17	+ 7,6	+17,5	6,85	—1,13	687	—133	450	900	...	...	SSO. 1	0,51	15,0	+ 0,5	136,3
12	731,26	+ 4,75	+ 9,84	— 0,69	+ 4,4	+14,1	7,09	—0,82	776	— 45	610	920	...	...	variable	0,73	13,7	— 0,6	138,5
13	729,21	+ 2,73	+10,08	— 0,28	+ 7,9	+12,0	6,13	—1,70	680	—142	550	730	...	...	N. 3	0,53	. .	.....	140,0
14	723,90	— 2,55	+ 8,77	— 1,41	+ 7,3	+12,0	6,80	—0,95	818	— 5	720	840	...	...	variable	1,00	14,2	+ 0,1	135,0
15	725,00	— 1,42	+ 9,78	— 0,22	+ 6,6	+14,2	7,62	—0,06	854	+ 31	640	980	...	...	id.	0,26	14,6	+ 0,6	131,5
16	728,91	+ 2,51	+ 9,02	— 0,81	+ 3,5	+16,0	7,84	+0,24	897	+ 73	650	1000	...	...	SSO. 1	0,29	14,5	+ 0,7	131,2
17	727,25	+ 0,88	+10,14	+ 0,49	+ 3,4	+14,2	8,27	+0,75	871	+ 46	690	1000	...	...	variable	0,61	14,4	+ 0,7	131,5
18	721,19	— 5,16	+13,12	+ 3,65	+ 8,3	+17,9	9,54	+2,10	839	+ 13	670	950	1,7	2	id.	0,91	14,7	+ 1,2	129,0
19	723,32	— 3,01	+11,45	+ 2,16	+10,3	+14,1	8,26	+0,90	835	+ 8	660	950	7,6	10	SSO. 1	0,99	14,3	+ 0,9	126,5
20	724,99	— 1,32	+13,16	+ 4,05	+ 9,2	+19,9	8,58	+1,29	777	— 50	500	940	...	...	variable	0,23	...	.....	127,0
21	721,76	— 4,53	+10,34	+ 1,41	+ 7,7	+13,0	9,39	+2,18	989	+161	940	990	14,3	11	variable	0,98	14,2	+ 1,0	126,0
22	718,84	— 7,43	+12,93	+ 4,18	+ 7,7	+18,0	8,98	+1,85	804	— 25	630	990	32,2	12	SSO. 2	0,92	13,6	+ 0,6	127,5
23	725,21	— 1,04	+10,86	+ 2,29	+ 9,3	+18,0	6,12	—0,93	652	—177	510	740	...	...	SSO. 1	0,65	13,1	+ 0,2	129,0
24	725,37	— 0,87	+11,35	+ 2,96	+ 6,6	+15,9	6,41	—0,57	651	—179	480	830	...	...	SSO. 2	0,49	12,6	— 0,2	129,9
25	717,27	— 8,95	+13,44	+ 5,23	+ 9,2	+18,5	8,28	+1,38	736	— 94	520	900	32,9	8	SSO. 1	0,96	10,0	— 2,6	127,3
26	719,38	— 6,83	+10,34	+ 2,30	+ 5,8	+14,9	6,03	—0,79	657	—174	440	900	...	...	SO. 2	0,75	8,3	— 4,2	133,0
27	716,78	— 9,42	+10,30	+ 2,44	+ 8,4	+14,9	7,54	+0,80	820	— 11	600	880	9,7	8	SSO. 1	0,99	...	.....	130,0
28	723,87	— 2,31	+ 6,84	— 0,84	+ 4,3	+10,9	5,42	—1,25	748	— 84	610	870	...	...	SSO. 1	0,60	8,2	— 4,0	137,7
29	724,94	— 1,23	+ 5,44	— 2,06	+ 3,5	+ 9,9	5,13	—1,46	776	— 56	620	930	2,7	4	SSO. 1	0,67	8,1	— 4,0	135,2
30	722,35	— 3,82	+ 2,07	— 5,25	+ 0,9	+ 4,9	4,49	—2,02	859	+ 26	720	970	9,2	11	SSO. 2	0,87	7,9	— 4,0	135,5
31	725,32	— 0,84	+ 2,26	— 4,88	— 1,2	+ 6,0	3,73	—2,71	723	—110	450	970	4,6	7	SSO. 1	0,88	8,2	— 3,6	137,1

MOYENNES DU MOIS D'OCTOBRE 1878.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
Baromètre.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	728,56	728,97	728,97	728,67	728,09	727,86	727,97	728,45	728,51
2e »	726,79	727,22	727,06	726,67	726,10	725,90	726,17	726,32	726,51
3e »	721,86	722,19	722,18	721,82	721,61	721,62	722,02	722,51	722,88
Mois	725,61	726,00	725,95	725,59	725,15	725,02	725,28	725,66	725,87
Température.									
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	+ 9,41	+11,30	+14,21	+14,95	+15,87	+15,85	+14,16	+12,30	+10,92
2e »	+ 8,04	+ 9,52	+12,00	+13,92	+14,50	+13,80	+12,26	+10,73	+ 9,51
3e »	+ 7,40	+ 7,98	+10,07	+11,59	+11,62	+10,45	+ 9,69	+ 8,44	+ 8,18
Mois	+ 8,25	+ 9,55	+12,03	+13,43	+13,92	+13,27	+11,96	+10,42	+ 9,49
Tension de la vapeur.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	8,12	8,89	9,08	9,43	9,37	9,59	9,48	9,10	8,88
2e »	7,17	7,82	7,90	7,65	7,82	7,86	8,28	8,21	7,75
3e »	6,41	6,57	6,76	6,61	6,71	6,71	6,79	6,54	6,60
Mois	7,21	7,72	7,87	7,86	7,92	8,01	8,14	7,90	7,71
Fraction de saturation en millièmes.									
1re décade	924	896	760	760	710	722	790	853	912
2e »	893	877	761	649	635	673	774	850	873
3e »	824	806	718	642	651	690	720	791	798
Mois	878	858	745	682	665	695	763	827	859

	Therm. min.	Therm. max.	Clarté moy. du Ciel.	Température du Rhône.	Eau de pluie ou de neige.	Limnimètre.
	0	0		0	mm	cm
1re décade	+ 8,26	+17,06	0,55	+15,93	33,8	146,9
2e »	+ 6,85	+15,19	0,61	+14,42	9,3	132,6
3e »	+ 5,65	+13,17	0,80	+10,42	105,6	131,6
Mois	+ 6,88	+15,08	0,66	+13,44	148,7	136,9

Dans ce mois, l'air a été calme 0,7 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 0,55 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est S. 44°,7 O., et son intensité est égale à 32,9 sur 100.

TABLEAU

DES

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU GRAND SAINT-BERNARD

pendant

LE MOIS D'OCTOBRE 1878.

Le 1er, brouillard une grande partie de la journée.
2, brouillard le matin.
7, brouillard tout le jour; fort vent du SO.
8, brouillard, pluie, neige, fort vent du SO. tout le jour.
9, brouillard le matin.
10, brouillard presque tout le jour; à plusieurs reprises quelques flocons de neige.
11, brouillard l'après midi.
12, brouillard le matin et le soir.
13, brouillard tout le jour; quelques flocons de neige le matin, par une forte bise
14, neige et brouillard le soir.
21, neige et brouillard tout le jour.
22, brouillard le matin et le soir.
23, brouillard l'après-midi.
25, brouillard et neige tout le jour; fort vent du SO.
26, brouillard le matin et le soir.
27, brouillard tout le jour.
28, la neige marquée pour ce jour est tombée dans la nuit du 27 au 28. Brouillard tout le jour. Le petit lac à côté de l'hospice est entièrement couvert de glace.
29, neige et brouillard au milieu du jour; clair le matin et le soir.
30, neige, brouillard et très forte bise tout le jour.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM	mm	MINIMUM.	mm
Le 5 à midi	572,67	Le 8 à 10 h. soir	561,85
11 à 8 h. matin	568,23	14 à 8 h. soir	562,05
16 à 10 h. soir	569,63	19 à 8 h. matin	561,70
20 à 6 h. soir	565,28	22 à 10 h. soir	560,11
24 à 10 h. matin	564,81	25 à 10 h. soir	557,93
26 à 4 h. après midi	560,04	28 à 6 h. matin	557,65
28 à 8 h. soir	560,15	30 à 10 h. matin	554,71
31 à 10 h. soir	559,60		

Jours du mois.	Baromètre. Hauteur moy. des 24 heures.	Baromètre. Écart avec la hauteur normale.	Baromètre. Minimum.	Baromètre. Maximum.	Température C. Moyenne des 24 heures.	Température C. Écart avec la température normale.	Température C. Minimum*	Température C. Maximum*	Pluie ou neige. Hauteur de la neige.	Pluie ou neige. Eau tombée dans les 24 h.	Pluie ou neige. Nombre d'heures.	Vent dominant.		Clarté moyenne du Ciel.
	millim.	millim.	millim.	millim.	°	°	°	°	millim.	millim.				
1	567,42	+ 1,56	566.90	568,19	+ 2,60	+ 1.09	+ 1,6	+ 4,8	.....	.....	....	NE.	1	0,78
2	569,30	+ 3,53	568,24	571,08	+ 1,68	+ 0,32	+ 0.0	+ 3,7	.....	.....	....	NE.	1	0,32
3	571,21	+ 5,53	570.85	571,50	+ 3,14	+ 1,93	+ 0,8	+ 7,1	.....	.....	....	NE.	1	0,30
4	571,65	+ 6,06	571,22	572,20	+ 5,89	+ 4,83	+ 3,7	+ 8,0	.....	.....	....	NE.	1	0,31
5	572,20	+ 6,70	571,92	572,67	+ 7,67	+ 6,76	+ 6,0	+10,0	.....	.....	....	NE.	1	0,00
6	570.70	+ 5,29	570,22	571,19	+ 7,01	+ 6,25	+ 4,8	+ 9,8	.....	.....	....	SO.	1	0,26
7	568,33	+ 3,01	567,96	568,93	+ 1,18	+ 0,57	+ 0,9	+ 2,0	.....	6,8	....	SO.	2	1,00
8	563,22	— 2,02	561,85	565,07	+ 1,58	+ 1,11	+ 0,7	+ 2,4	70	62,2	.. .	SO.	2	1,00
9	564,45	— 0,70	563,25	565,45	+ 0,60	+ 0,28	+ 0,2	+ 1,8	.....	.....	....	NE.	1	0,46
10	565,62	+ 0,56	565,21	566,57	+ 0,80	+ 0,63	0,0	+ 2,5	.....	.....	....	SO.	1	0,84
11	567,52	+ 2,55	566,75	568,00	+ 0,59	+ 0,57	+ 0,3	+ 2,0	.....	.....	....	NE.	1	0,50
12	567,73	+ 2,85	567,19	568,23	+ 0,88	+ 1,02	+ 0,1	+ 2,3	.....	.....	....	NE.	1	0,89
13	564,77	— 0,02	564,23	565,54	+ 2,32	+ 2,62	+ 1,1	+ 3,6	.....	.....	....	NE.	2	0,94
14	562,25	— 2,45	562,05	562,84	+ 0,27	+ 0,72	0,0	+ 1,6	70	6,2	....	SO.	1	0,97
15	563,98	— 0,63	562,42	565,57	+ 0,52	+ 1,12	0,0	+ 2,3	.....	.....	....	NE.	1	0,39
16	568.35	+ 3,83	566,70	569,63	+ 5,47	+ 6,22	+ 3,2	+ 6,9	.....	.....	....	NE.	1	0,08
17	568,65	+ 4,21	568,02	569,28	+ 4,90	+ 5,81	+ 4,8	+ 6,0	.....	.....	....	NE.	1	0,30
18	564.52	+ 0,16	562,95	566,69	+ 3,88	+ 4,95	+ 1,0	+ 6,2	.....	8,4	....	SO.	1	0,93
19	562,72	— 1,56	561,70	564,14	— 0,16	+ 1,06	— 1,5	+ 1,2	100	8,0	....	SO.	1	0,87
20	564,99	+ 0,79	564,32	565,28	+ 2,49	+ 3,86	— 0,6	+ 4,8	....	.....	....	NE.	1	0,11
21	563,56	— 0,56	563,00	564,32	— 0,17	+ 1,35	— 0,5	+ 0,4	90	7,4	....	SO.	1	0,99
22	560,44	— 3,60	560,11	561,30	+ 0,53	+ 2,20	0,0	+ 1,4	.....	.....	....	SO.	1	0,88
23	562,58	— 1,38	560,66	564,21	— 2,72	— 0,89	— 4,9	+ 1,2	.....	.....	....	NE.	1	0,68
24	564,53	+ 0,65	564,34	564,81	— 0,35	+ 1,63	— 2,8	+ 2,5	.....	.....	....	NE.	1	0,06
25	560,29	— 3,51	557,93	562,26	— 2,07	+ 0,06	— 2,2	— 1,5	240	20,9	....	SO.	2	1,00
26	559,42	— 4,30	558,57	560,04	— 3,87	— 1,59	— 6,5	— 2,2	.....	.....	....	NE.	1	0,37
27	558,62	— 5,03	557,76	559,68	— 2,69	— 0,26	— 3,4	— 1,8	.....	.....	....	SO.	2	0,92
28	558,94	— 4,64	557,65	560,15	— 6,73	— 4,15	— 8,4	— 5,4	220	23,5	....	NE.	1	0,79
29	559,47	— 4,04	559,16	559,83	— 9,13	— 6,40	—11,2	— 5,9	40	3,0	....	NE.	1	0,36
30	555,72	— 7,72	554,71	557,31	—11,22	— 8,34	—13,5	— 9,4	250	20,2	....	NE.	2	0.91
31	558,50	— 4,87	558,01	559,60	—11,11	— 8,09	—15,2	— 7,8	.....	.....		NE	1	0,61

* Ces colonnes renferment la plus basse et la plus elevée des températures observées de 6 h. matin à 10 h. soir.

MOYENNES DU MOIS D'OCTOBRE 1878.

Baromètre.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	568,41	568,51	568 54	568,50	568,30	568,25	568,41	568,57	568,67
2e »	565,28	565,55	565,66	565,64	565,56	565,62	565,64	565,69	565,72
3e »	560,15	560,26	560,23	560,17	560,18	560,19	560,32	560,29	560,33
Mois	564,47	564,63	564,66	564,61	564,54	564,54	564,65	564,70	564,76

Température.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	+ 2,37	+ 2,88	+ 3,68	+ 4,71	+ 4,63	+ 4,44	+ 3,27	+ 2,94	+ 2,61
2e »	+ 2,12	+ 2,22	+ 2,63	+ 2,84	+ 2,87	+ 2,55	+ 2,44	+ 2,05	+ 1,92
3e »	— 5,37	— 4.55	— 3,82	— 2,86	— 2,89	— 4,00	— 4,49	— 4,78	— 5,15
Mois	— 0,46	+ 0,03	+ 0,68	+ 1,42	+ 1,39	+ 0,84	+ 0,25	— 0,09	— 0,36

	Min. observé.	Max. observé.	Clarté moyenne du ciel.	Eau de pluie ou de neige.	Hauteur de la neige tombée.
	0	0		mm	mm
1re décade	+ 1,87	+ 5,21	0,53	69,0	70
2e »	+ 0,84	+ 3,69	0,60	22,6	170
3e »	— 6,24	— 2,59	0,69	75,0	840
Mois	— 1,34	+ 1,95	0,61	166,6	1080

Dans ce mois, l'air a été calme 0,0 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 1,56 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est N. 45° E., et son intensité est égale à 25,1 sur 100.

MÉTHODE GÉNÉRALE
D'INTÉGRATION CONTINUE
D'UNE
FONCTION NUMÉRIQUE QUELCONQUE
A propos de quelques théorèmes fournis par l'analyse mathématique appliquée au calcul des courbes

D'UN

NOUVEAU THERMOGRAPHE

DEUX MÉMOIRES

PAR

MM. RAOUL PICTET et GUSTAVE CELLÉRIER

INTRODUCTION

Il arrive fréquemment dans les recherches scientifiques qu'une étude, dirigée vers un but très-spécial, conduit peu à peu à des résultats entièrement inattendus et qui s'écartent totalement de la voie que l'on poursuivait.

C'est ce qui nous est arrivé dans l'étude d'une courbe particulière nécessaire à un thermographe dont nous donnons ci-après la description.

Cet appareil destiné à enregistrer les températures, doit conduire un crayon sur un papier entraîné par un mouvement d'horlogerie; la position du crayon est déter-

minée par les tensions maxima des vapeurs d'un liquide volatil.

Afin de rendre tous les degrés égaux, nous avons calculé une courbe de correction établie sur les principes de la cinématique.

Le problème semblait fort compliqué au début, mais, progressivement, les équations se sont singulièrement simplifiées et au moyen de la discussion analytique, il nous a été possible d'établir une formule générale embrassant tous les cas similaires qui peuvent se présenter. Supposant ensuite que deux courbes quelconques sont à une distance infinie et qu'elles obéissent aux conditions de solidarité spécifiées, plusieurs termes de l'équation générale s'annulent et les différentielles des variables indépendantes se répartissent d'une manière si heureuse que chaque membre de l'équation ne contient plus que les variables se rapportant à une des deux courbes.

Ce résultat est de la plus haute importance au point de vue du calcul intégral numérique; en effet, l'équation différentielle générale ayant à chaque membre des fonctions de variables *absolument séparées*, il est possible d'intégrer une fonction quelconque entre deux limites données au moyen d'une fonction auxiliaire dont l'intégration est connue.

Le premier membre de l'équation générale se rapportera à la courbe auxiliaire, le second à la fonction quelconque que l'on veut intégrer. L'intégrale définie que l'on obtiendra entre les limites fixées pour la première courbe sera constamment égale en valeur numérique à l'intégrale de la seconde fonction.

Ainsi, par cette méthode et sans aucune mesure *planimétrique*, on peut obtenir la valeur exacte numérique de fonctions réputées absolument non intégrables.

De plus toutes ces valeurs numériques peuvent être fournies *continuellement* par la lecture du mouvement linéaire d'un fil inextensible, lorsque ce fil s'enroule ou se déroule sur une courbe calculée d'après la fonction donnée.

La transmission des mouvements, dans son cas le plus général, est comprise dans l'étude analytique de ce problème.

Au moyen des méthodes indiquées, nous pouvons intégrer directement des fonctions comme celles-ci :

$$\int e^{\operatorname{tg} x}\, d\,x \text{ quand } x > 45^\circ$$

$$\int \cos x^2\, d\,x$$

$$\int \frac{e^x\, d\,x}{x}$$

$$\int \sqrt{1 + k^2 \sin^2 x}\, d\,x \text{ lorsque } k > 1$$

Toutes les fonctions elliptiques, les exponentielles, les expressions de quelque nature qu'elles soient, deviennent *intégrables* numériquement ; il suffit simplement qu'aucun facteur, ni terme de l'expression ne soit *imaginaire*, ce qui entraîne nécessairement l'impossibilité matérielle d'un résultat numérique. Une remarque curieuse concernant également cette méthode générale d'intégration, c'est que tous les résultats sont ramenés à des *lectures linéaires*, bien qu'ils se rapportent à des variables multiples exprimant des surfaces ou des volumes.

Afin de permettre au lecteur de suivre facilement les raisonnements qui nous ont conduits aux résultats indiqués plus haut, nous partagerons ce travail en deux mémoires séparés.

Le premier sera intitulé : *Un nouveau Thermographe, sa théorie. Épure de sa courbe de correction.*

Le second aura pour titre : *Méthode générale d'intégration continue d'une fonction numérique quelconque. Application à la transmission de mouvements variés.*

Les deux mémoires se subdiviseront en chapitres correspondant à chacune des étapes naturelles au développement de ces sujets.

PREMIER MÉMOIRE

Un nouveau Thermographe, sa théorie. Épure de sa courbe de correction.

Chapitre I

Considérations générales.

Dans la plupart des phénomènes de physique et de chimie, la mesure exacte de la température et ses variations pendant un certain temps sont d'une importance majeure.

En météorologie, l'étude des variations de la température entre le jour et la nuit et pendant les diverses saisons de l'année, constitue la partie la plus essentielle des observations et permet la classification des différents climats du globe.

Pour mesurer les températures on se sert de *thermomètres.* Ces appareils, extrêmement nombreux et variés quant à leur forme et à la nature des substances employées dans leur fabrication, sont tous basés sur l'*observation des changements de volume que subissent tous les corps quand on modifie la quantité de chaleur sensible qu'ils possèdent.*

C'est uniquement par cette modification dans le volume que l'on constate la modification concomitante dans la *chaleur sensible* du corps.

Par cette expression *chaleur sensible* on entend exclure du mot chaleur la portion appelée *chaleur latente* consommée, soit par les forces moléculaires intérieures, soit par les forces extérieures qui exercent une pression sur la surface du corps et luttent contre une augmentation de volume.

Il résulte de cette méthode de mesurer les températures, qu'elle est basée sur *un simple postulat* que l'on peut exprimer ainsi :

Dans les corps choisis pour construire un thermomètre, on admet *que l'élévation de la température est proportionnelle au changement de volume.*

Par conséquent, une augmentation de volume double correspondra à une élévation de température double et ainsi de suite.

Les thermomètres à air, à mercure, à alcool, les thermomètres métalliques, les pyromètres, etc., etc., tous, sans exception, ne donnent les valeurs numériques des températures qu'au moyen de variations de volume lues directement *sur des divisions équidistantes.*

Dans cette manière d'envisager la mesure des températures, il est impossible de donner aucune définition claire et précise du mot *température.*

La seule qui soit logique est celle qui est tirée de la méthode *employée empiriquement* à sa mensuration. Mais alors ce mot reste dans un vague absolu et n'est plus que le corollaire du phénomène de la *dilatation.*

Une seule vérification permet d'admettre *dans une certaine mesure* que le postulat précité est exact, c'est-à-dire que des augmentations égales de chaleur correspondent à des augmentations égales de volume pour certains corps, c'est la méthode des mélanges dont M. Regnault a fait un grand usage.

Mais cette vérification, qui donne plus de confiance au point de vue numérique aux observations thermométriques, ne renseigne pas sur la corrélation nécessaire qui doit exister entre le volume d'un corps et sa température. Les anomalies sont fréquentes, nombreuses, habituelles même, et il est téméraire de fixer arbitrairement les limites entre lesquelles les observations doivent être jugées exactes.

Tout le monde connaît les anomalies de l'eau à partir de $+ 4°$ jusqu'à $0°$, puis sa cristallisation et sa brusque augmentation de volume.

Le mercure, près de son point de congélation, n'est plus comparable au thermomètre à air.

Quant à ce dernier instrument, on ignore encore totalement dans quelles limites il est exact puisqu'*aucun contrôle* n'est possible.

Lorsque la thermodynamique apparut, il y a quelque vingt ans, les deux théorèmes principaux, d'où découlèrent une foule innombrable de conséquences et de découvertes heureuses, introduisirent la température comme un des facteurs principaux.

Le second principe mécanique de la chaleur n'est en somme qu'une définition déguisée de la température.

Laissant de côté la forme analytique sous laquelle cette proposition s'est présentée pour la première fois et l'interprétant en langage ordinaire on peut la traduire ainsi :

Si l'on a une quantité de chaleur Q disponible à une température $t' > t$ et qu'on fasse descendre cette quantité de chaleur de la température t' à la température inférieure t, il sera possible de transformer une partie seulement de cette quantité de chaleur en travail mécanique. Cette fraction maximum a pour expression :

$$Q \frac{t'-t}{t}.$$

En multipliant cette quantité de chaleur transformée par l'équivalent mécanique de la chaleur représenté par E, le travail disponible sera

$$Q \frac{t'-t}{t} \text{ E kilogrammètres.}$$

Le second principe mécanique de la chaleur fournit une relation simple d'une part : entre une certaine quantité de chaleur disponible à une température t' arbitraire, prise comme point de départ et de l'autre, entre le travail obtenu et la variation de la température de t' à t. Ainsi, si l'on connaît exactement la quantité de kilogrammètres obtenus dans une transformation de cette nature, il sera possible de déterminer la valeur de t en fonction de t', de E et de Q, chaleur disponible.

Cette relation, qui est de beaucoup la plus importante de la thermodynamique, ne donne pas malheureusement une *définition physique* de la *température,* elle ne fournit qu'une relation entre cet élément et un facteur kilogrammétrique.

Ce n'est pas ici le moment de développer cette question qui sera traitée d'ici à peu de temps dans un mémoire spécial[1] en voie de rédaction ; seulement nous appuyons sur ce point important que la *température,* pour être rigoureusement mesurée, a besoin du contrôle du second principe mécanique de la chaleur. Ce sont donc des *mesures kilogrammétriques* qui doivent vérifier *des mesures de température.*

[1] Systèse de la chaleur. Étude sur la température.

Sur les bases que nous venons d'exposer, nous avons étudié les changements d'état des liquides en vapeurs et la loi des tensions des vapeurs.

Ces phénomènes complexes donnent des relations numériques d'une grande précision entre les divers éléments qui constituent le problème calorifique.

Grâce aux belles expériences de M. Regnault sur les tensions maxima des vapeurs, les chaleurs spécifiques et les chaleurs latentes de presque tous les liquides, on possède un tableau numérique très vaste permettant de nombreuses vérifications des lois théoriques.

C'est au moyen de ce tableau que nous avons pu vérifier la formule générale suivante. Elle est déduite d'un cycle spécial, composé en vue de déterminer les températures par des mesures kilogrammétriques,

Appelant :

t' : une température arbitraire prise comme point de repère, soit l'ébullition de l'eau sous une pression de 760mm de mercure, soit l'ébullition du soufre, etc. .

t la température variable qu'on veut déterminer.

λ' la chaleur latente totale de volatilisation d'un liquide à la température t'.

P' la tension des vapeurs du liquide à t'.

P la tension des vapeurs à la température t.

c la chaleur spécifique du liquide.

k la chaleur spécifique des vapeurs du liquide.

$\frac{1}{274}$ le cœfficient de dilatation des gaz.

1,293 le poids d'un litre d'air à 0° et 760mm.

δ la densité des vapeurs, variable suivant les pressions.

10333 la pression en kilogrammes sur un mètre carré correspondant à 760mm de mercure.

431[1] équivalent mécanique de la chaleur.

La formule générale s'exprime par :

$$l\left(\frac{P'}{P}\right)=\frac{[\lambda'+(c-k)(t'-t)]\,431\times 1{,}293\,\delta\times 274\,(t'-t)}{10333\,[(274+t')^2-(274+t')\,(t'-t)]}.$$

Ou bien en simplifiant le dénominateur :

$$l\left(\frac{P'}{P}\right)=\frac{[\lambda'+(c-k)(t'-t)]\,431\times 1{,}293\,\delta\times 274\,(t'-t)}{10333\,(274+t')(274+t)}.$$

Cette formule donne la relation intime qui existe entre la pression P des vapeurs du liquide et la température correspondante t.

Le premier membre est le logarithme népérien du quotient

$$\frac{P'}{P}.$$

Le second membre n'est fonction que de t :

Ainsi, lorsque l'on connaît P par une observation directe, on déduit la température t par le calcul.

Si c'est t qui est donné numériquement, la formule fait connaître P.

Dans cette équation, on suppose connus plusieurs termes qui n'ont été déterminés que par l'emploi des thermomètres à mercure et à air. Ce serait donc un cer-

[1] C'est après avoir comparé plus de deux mille résultats fournis soit par le calcul, soit par les chiffres de M. Regnault que j'ai trouvé pour la valeur la plus probable de E le nombre 431 kilogrammètres. R. P.

de vicieux que de déclarer leurs valeurs numériques comme absolument exactes. Cependant les vérifications faites au moyen de la méthode des mélanges sont suffisantes pour que ces nombres puissent être acceptés comme très voisins de leur véritable valeur.

Les *approximations successives*, dont l'emploi est absolument indiqué dans ce cas, permettent de corriger facilement les écarts numériques qui pourraient s'être introduits dans les valeurs de ces différents éléments.

On arrive ainsi à obtenir des résultats si précis numériquement et si constamment exacts, quels que soient les liquides étudiés, que l'on peut avoir une entière confiance dans la relation intime qui lie t et P.

Ainsi le problème de la *mesure des températures* au moyen de mesures kilogrammétriques est résolu.

La mesure des pressions P se ramène à la lecture des indications d'un manomètre, soit à la lecture d'une hauteur de mercure et la *température* devient un élément de même ordre qu'un poids, une longueur, une force dont la mesure est absolument facile et certaine.

Dans le mémoire auquel nous avons fait allusion, nous donnerons un détail complet de la partie analytique de ce problème et nous montrerons comment la *température* considérée comme la *longueur des oscillations calorifiques* est en relation intime avec les tensions maxima des vapeurs saturées.

Ici nous nous contentons de relater les résultats.

En appliquant cette formule aux tensions maxima de la vapeur d'eau entre les limites

$$+200^\circ = t'$$

et

$$82^\circ = t$$

le résultat fourni par la formule est presqu'identique à celui fourni par l'expérience.

Voici quelques chiffres :

$$P' \text{ pour l'eau à } 200° = 11688^{mm},96 \text{ (Regnault).}$$

$$P \text{ à } 82°. \text{ Calculé } 384^{mm},51. \text{ Observé } 384^{mm},435.$$

Il y a une différence de $0^{mm},075$ qui est inférieure aux erreurs d'observation provenant des thermomètres les plus sensibles.

Nous avons appliqué la formule générale aux liquides suivants :

L'éther sulfurique, l'éther iodidrique, l'éther méthylique, l'acétone, le sulfure de carbone, l'alcool, la benzine, le chloroforme, l'essence de térébenthine, l'ammoniaque, le chlorure de méthyle, la triméthyllamine, le mercure, l'acide sulfureux, etc., etc.

Dans tous ces exemples, la formule se vérifie avec une approximation plus grande que la limite d'erreur introduite par l'usage des thermomètres. Aussi, est-ce sur l'emploi de cette formule générale que *nous basons la mesure rationnelle des températures vraies.*

Dans le chapitre suivant nous décrirons l'appareil construit dans le but de mesurer les températures, appareil que nous avons appelé *thermo-dynamomètre* à cause du principe sur lequel il repose, puis nous indiquerons les modifications apportées à cet instrument pour en faire un *thermographe* appliquable aux observatoires et aux stations météorologiques.

Chapitre II

Disposition et construction du Thermo-dynamomètre.

Dans le chapitre précédent, nous avons brièvement indiqué les considérations particulières qui nous ont conduits à la mensuration des températures au moyen des tensions maxima des liquides volatils.

Nous allons maintenant décrire les dispositions des appareils construits dans ce but et la manière de s'en servir dans les laboratoires et les stations météorologiques.

Ces instruments peuvent contenir un liquide volatil quelconque, pourvu qu'il satisfasse à différentes conditions pratiques.

1° Le liquide doit pouvoir s'obtenir chimiquement pur.

2° Le liquide volatil doit être stable malgré de fréquents changements d'état; il ne doit pas se polymériser.

3° Le liquide volatil doit être sans action chimique sur le mercure, ni sur le verre.

4° Le liquide doit être suffisamment volatil pour que les températures soient mesurées avec toute l'approximation désirable ; il ne doit pas l'être trop, afin de ne pas exiger des dimensions considérables aux tubes manométriques.

5° Il faut que l'on connaisse aussi exactement que possible la chaleur spécifique du liquide c, celle des vapeurs k, la chaleur latente λ' à une température t' prise pour base et la variation de la densité des vapeurs δ sous des pressions différentes, soit la valeur des *covolumes* de ces vapeurs.

Ces chiffres se corrigent très vite par les *approximations successives* au moyen d'un thermomètre étalon construit avec un liquide bien étudié, ou simplement par la réduction analytique de plusieurs séries d'observations.

6° Il est nécessaire que les vapeurs ne contiennent aucun gaz étranger et que les tensions manométriques ne soient influencées par aucune cause extérieure dont on ne pourrait pas tenir compte.

Jusqu'à présent, les seuls manomètres précis dont on se serve consistent en colonnes de mercure contenues dans des tubes en verre. La différence de hauteur entre les deux ménisques du mercure mesure la pression avec toute exactitude. Nous avons conservé ce système du manomètre, car c'est le plus simple et le meilleur.

Il nous est donc difficile de dépasser une température de 200 à 250 degrés centigrades sans introduire des facteurs étrangers provenant de la tension des vapeurs de mercure qui s'ajouterait à celle des vapeurs considérées, mais par contre, ainsi que nous le montrerons, il nous sera possible de mesurer les températures les plus basses jusque vers — 160° à — 180°, sans avoir à redouter ni la congélation du mercure, ni aucune erreur dues aux contractions du verre.

Nous partageons en pratique l'échelle thermométrique en 5 parties, qui nécessitent chacune un instrument spécial, actionné par un liquide jouissant des propriétés sus-énoncées.

En commençant par les plus basses températures, voici le nombre des liquides utilisés.

1° de — 180° à — 100° mélange en parties égales d'acide carbonique et de protoxyde d'azote.

2° de — 100° à — 40° acide carbonique pur, ou protoxyde d'azote pur.

3° de — 40° à + 25° acide sulfureux anhydre pur.

4° de + 25° à + 90° éther sulfurique rectifié.

5° de + 90° à + 200° eau distillée.

Nous avons choisi pour chaque portion de l'échelle thermométrique un liquide dont les tensions maxima soient comprises entre $^1/_2$ et 10 atmosphères, limites que l'on peut admettre facilement en pratique.

Dans ces conditions, les écarts des ménisques se lisent aisément et les hauteurs de mercure sont données au $^1/_{10}$ de millimètre près sans difficulté.

Voici la disposition générale d'un thermo-dynamomètre :

Nous faisons souffler un long tube en verre représenté dans la planche I, fig. 1.

Ce tube est recourbé 2 fois sur lui-même dans la portion *a b c d*.

La partie *a b c* est destinée à contenir le mercure.

La partie *d* contient le liquide volatil et ses vapeurs.

Dans le renflement du tube en K se trouve le ménisque inférieur du mercure M. C'est sur ce ménisque qu'agissent avec une certaine pression les vapeurs du liquide volatil que l'on a introduit dans la branche *c d*. Le mercure monte dans la branche *a* et s'arrête en N de telle sorte que la hauteur cathétométrique N M mesure exactement la tension des vapeurs en *c d*.

Nous allons décrire sommairement la méthode suivie pour le remplissage de l'appareil.

On commence par réunir l'embouchure *e* du tube de verre avec une bonne machine pneumatique faisant le vide à un $^1/_2$ millimètre. On se sert d'un tube de caoutchouc attenant à un robinet à trois voies, placé juste au-dessus du tube en verre.

Pour empêcher le tube de caoutchouc de s'écraser, on y introduit une spire de fil de fer.

Le robinet à trois voies est fixé de telle sorte que sa branche inférieure communique avec le tube *a b c d*, sa branche horizontale avec la machine pneumatique et la branche supérieure avec un flacon ou une éprouvette contenant le liquide volatil que l'on veut introduire dans l'instrument.

Le raccord de ce flacon avec la branche supérieure du robinet se fait également par l'intermédiaire d'un tube de caoutchouc raidi par une spire métallique.

Ces préliminaires établis, on tourne le robinet à trois voies, de telle sorte que la machine pneumatique soit mise en communication avec le tube de verre. On fait le vide et l'on chauffe le tube dans toute sa longueur en promenant un bec Bunsen de haut en bas.

Cette opération a pour résultat de dessécher complètement le tube et de chasser tout l'air qu'il contient.

On prolonge ce desséchement pendant plusieurs minutes.

On utilise ce temps pour remplir aux deux tiers environ le flacon qui doit contenir le liquide volatil.

On bouche ce flacon après le remplissage avec un bouchon de caoutchouc percé au milieu par un petit tube en verre sur lequel se fixe le tube de caoutchouc qui relie le robinet à trois voies avec le flacon.

Pour introduire le liquide volatil dans le flacon, il faut prendre quelques précautions, surtout si ce liquide est l'acide sulfureux ou le protoxyde d'azote.

On doit au préalable refroidir ce petit réservoir de verre pour que l'action frigorifique intense provoquée par ces liquides ne le fasse pas éclater ou se fendre.

La vapeur d'eau contenue dans l'air ne doit pas se déposer contre les parois internes du flacon, ce qui pourrait hydrater le liquide volatil.

Les manipulations diverses qu'exigent ces précautions multiples sont trop longues et trop minutieuses pour que nous nous y arrêtions; nous nous contentons d'indiquer les conditions de l'expérience, conditions indispensables pour assurer l'exactitude de l'instrument.

Quand le tube de verre *a b c d* est entièrement desséché par l'action combinée du vide et de la chaleur, on tourne le robinet à trois voies de façon à faire communiquer la machine pneumatique avec les deux branches du robinet soit avec le tube en verre et le flacon bouché.

Immédiatement les vapeurs du liquide volatil envahissent la totalité du volume de ces conduits et remplacent l'air qui s'y trouvait auparavant.

Cette évaporation rapide du liquide volatil abaisse notablement la température du flacon et de son contenu, on voit apparaître une forte couche de givre sur les parois extérieures.

Le manomètre de la machine pneumatique indique la tension des vapeurs.

On isole de nouveau le flacon en tournant le robinet à trois voies, de telle sorte que le tube *a b c d* soit seul en communication avec la pompe, puis on fait le vide. Dès qu'on est arrivé à un vide d'un $^1/_2$ millimètre de mercure, on laisse rentrer les vapeurs dans le tube.

On répète plusieurs fois de suite ces manœuvres qui ont pour double résultat :

1° De chasser toute trace d'air de l'appareil en remplaçant ce gaz par les vapeurs du liquide volatil;

2° D'abaisser considérablement la température du flacon et du liquide volatil qui y est contenu.

Lorsque cette série d'opérations est terminée, on entoure la partie *d* du tube de verre de chiffons de coton que l'on arrose avec de l'acide sulfureux liquide.

Cette portion du tube se refroidit très rapidement à — 50°.

En répétant l'arrosage de temps à autre, on maintient cette température basse indéfiniment.

On tourne ensuite le robinet à trois voies de manière que le tube en verre *a, b, c, d* communique uniquement avec le flacon.

Voici dans ces conditions ce qui se passe :

Le flacon contient un liquide volatil à basse température, mais *moins basse* cependant que celle de la partie *d* du tube en verre.

L'air de l'appareil ayant été totalement chassé, le liquide du flacon va distiller et se condenser dans la partie inférieure de *d* en L.

La différence des tensions des vapeurs entre le flacon et L détermine cette condensation.

Le phénomène se passant à basse température, on réalise plusieurs conditions avantageuses :

1°. La distillation étant lente, il n'y a point d'entraînement de liquide hors du flacon ;

2° La distillation se faisant à plusieurs degrés au-dessous de 0°, on fixe toute trace d'humidité (spécialement quand il s'agit de l'acide sulfureux et du protoxyde d'azote) ;

3° Le liquide volatil ne se dépose que dans la partie *d* du tube et n'entraîne ainsi aucune poussière, aucun corps étranger, ce qui arriverait infailliblement si l'on conduisait le liquide sans changement d'état du flacon à l'extrémité *d* ;

4° Les vapeurs qui se condensent en *d* correspondent donc aux vapeurs du liquide le plus pur qu'on puisse se procurer.

En ayant soin d'entretenir la basse température des chiffons qui entourent la partie *d* du tube, on arrive aisément à remplir presqu'en entier toute cette partie terminale du tube.

Quand on a obtenu ainsi 8 à 10 centimètres de liquide, on tourne le robinet à trois voies de manière à rétablir la communication du tube avec la machine pneumatique en excluant le flacon.

On dévisse le raccord supérieur du robinet à trois voies et on le remplace par un entonnoir en verre.

On verse dans cet entonnoir du mercure qui a été préalablement épuré, séché et filtré.

On fait le vide avec la machine pneumatique et quand la pression s'est fortement abaissée, on laisse descendre un peu de mercure dans le tube de verre, en prenant garde de tourner le robinet à trois voies du côté opposé à la pompe, pour éviter l'introduction du métal dans les conduits.

Cette première quantité de mercure qui descend dans la partie recourbée du tube de verre ferme la libre communication entre le liquide condensé en L et la portion A verticale.

Lorsque le mercure a rempli environ 20 centimètres du tube, on rétablit la communication avec la machinepneumatique, en excluant l'entonnoir.

En même temps, on enlève les chiffons qui entourent encore la portion *d*.

Au fur et à mesure que la température du liquide en L s'élève, sous l'influence du rayonnement extérieur, la ten-

sion des vapeurs augmente et le niveau du mercure tend à se modifier dans les deux branches *a*, *b* et *c*, *b*.

Dans la branche *a* le mercure monte, tandis qu'il baisse èn *c b*.

Comme l'on n'a introduit qu'une petite quantité de mercure dans l'appareil, il arrive très vite qne le niveau inférieur du mercure dans la branche *c*, *b* correspond avec le bas du coude en *b*.

Dès ce moment, les vapeurs peuvent monter dans la branche *a* sous forme de bulles et se dégager dans la chambre supérieure.

En faisant fonctionner la machine pneumatique, on enlève ces vapeurs au fur et à mesure de leur passage et on entretient la *seconde évaporation*.

En effet, le liquide qui s'était accumulé en L repasse à l'état gazeux et s'échappe au dehors en traversant une certaine épaisseur de mercure.

Cette seconde évaporation a pour but de donner une sécurité absolue dans l'exactitude de l'instrument. Toute trace d'air *doit avoir nécessairement disparu* lorsque le liquide contenu dans la branche *d* a été réduit à la vingtième partie du volume qu'il occupait au début.

Quand il ne reste plus dans la branche *d* que quelques millimètres du liquide, on tourne le robinet à trois voies et l'on continue le remplissage avec le mercure.

L'ampoule M K a été soufflée assez grande pour que sa capacité corresponde exactement au volume intérieur de la branche *a*.

On connaît donc d'avance le poids de mercure à introduire dans l'appareil pour que le niveau du ménisque dans la branche *a* puisse s'élever jusqu'au sommet *e* sans que le niveau M de l'autre branche s'abaisse au-dessous de l'ampoule.

Lorsque le remplissage est terminé, on peut faire bouillir le mercure dans la branche *a*, comme pour un baromètre, afin de chasser toute trace de gaz ou de vapeur qui aurait pu rester adhérente contre les parois du verre.

En mettant la branche *d* de l'appareil dans de l'eau à la température ordinaire, le mercure montera près du sommet *e* et il sera facile, tout en maintenant un vide presqu'absolu, de souder le tube aussi près que possible du ménisque supérieur du mercure dans la partie effilée.

Toutes les manœuvres que nous venons de décrire se rapportent plus particulièrement à la construction des thermo-dynamomètres à *acide sulfureux*. Pour les autres liquides on doit introduire de nombreuses variantes dictées par les différentes conditions où l'on se trouve; mais ce qu'il importe de noter c'est que la méthode générale que nous avons développée soit rigoureusement suivie.

On peut l'énoncer sous la forme suivante :

1° Le liquide volatil doit être introduit dans le tube en verre uniquement par voie de distillation ;

2° La distillation doit toujours avoir lieu aux températures les plus basses possibles, en tenant compte du rang que tient le liquide dans la série des liquides volatils ;

3° Une *seconde distillation* sera toujours opérée pour chasser l'air qui pourrait rester dans l'appareil après la première opération.

Quand le tube *a*, *b*, *c*, *d* a été complètement rempli, ainsi qu'on vient de le voir, on le place contre un support en bois où il est solidement fixé par plusieurs pinces en caoutchouc durci. Il est maintenu de telle sorte que la branche *c*, *d* fait *complètement saillie* hors du support, la dernière pince étant placée tout près du sommet de la branche verticale *b*, *c*.

Deux règles graduées F G, H I sont vissées à côté des branches *a, b* et *b, c.*

Un fil à plomb et des vis calantes dont est muni le socle de l'appareil, permettent d'amener les graduations dans la position verticale.

Telles sont les dispositions générales d'un thermo-dynamomètre lorsqu'il est prêt à fonctionner pour des mesures de température.

Supposons que l'instrument dont nous allons nous servir soit destiné à mesurer des températures *plus basses* que la température ambiante, comprises entre + 10 et — 30°, par exemple, telles que celles qui correspondent à un mélange de glace pilée et de sel marin.

Nous prendrons le vase contenant le liquide dont on veut déterminer la température et nous le placerons sur un support, de telle sorte que toute la partie recourbée *d* d'un thermo-dynamomètre à acide sulfureux plonge dans ce bocal et s'y trouve immergée.

La forme donnée au tube de verre et l'espace vide qui se trouve au-dessous de la branche *d* rend cette manœuvre très facile.

On suppose que les expériences se fassent dans un laboratoire dont la température moyenne est d'environ + 10 à + 15°. Ainsi le mercure et tout le matériel de l'instrument sont sensiblement à la même température plus élevée que celle du liquide sur lequel on opère.

Dès que les parois de la branche *d* sont refroidies au contact du liquide froid, elles condensent une portion des vapeurs contenues dans la *chambre thermique;* nous désignons sous ce nom l'espace compris entre la surface libre du liquide volatil et le ménisque du mercure en M.

La tension des vapeurs diminue aussitôt et l'on voit le

mercure s'abaisser dans la branche a et monter dans l'ampoule K.

On a soin de remuer constamment le liquide froid qui est dans le vase afin d'égaliser la température de toutes les parties de l'enceinte et de mélanger les couches supérieures plus chaudes avec les inférieures plus froides.

Au bout de quelques minutes, le mercure est devenu stationnaire, son niveau N dans la branche a est fixe.

. On lit la graduation correspondante à N sur l'échelle F G soit au moyen d'un cathétomètre, soit au moyen d'un T en métal muni d'un vernier que l'on fait courir sur l'arête vive de la graduation,

On lit de même la hauteur du ménisque M dans l'ampoule K.

La différence de ces deux lectures donne la valeur numérique de la tension P correspondant à la température cherchée t.

On n'a plus qu'à introduire la valeur de P dans l'équation générale dont tous les termes sont connus sauf la température cherchée. Elle reste comme seule variable indépendante et l'on obtient pour l'expression explicite la formule que nous allons déduire par le calcul suivant :

L'équation générale qui lie la pression P. à la température t est

$$l\left(\frac{P'}{P}\right)=\frac{[\lambda'+(c-k)(t'-t)]\,431\times 1{,}293\,\delta\times 274\,(t'-t)}{10333\,[(274+t')^2-(274+t')(t'-t)]}$$

Pour dégager t de cette équation lorsque P est connu numériquement, nous introduirons diverses simplifications.

Nous posons :

$$\theta = t' - t$$

$$\varepsilon = \frac{c - k}{\lambda'}$$

$$\tau' = 274 + t'$$

et

(1)
$$m = \frac{\theta(1 + \varepsilon\theta)}{\tau' - \theta}$$

d'où

$$m = \frac{10333\,(274 + t')\, l\left(\frac{P'}{P}\right)}{431\,\lambda' \times 1{,}293\,\delta \times 274}$$

On pose alors l'équation du second degré suivante :

$$\varepsilon\,\theta^2 + (1 + m)\,\theta = m\,\tau'$$

d'où l'on tire :

(2)
$$\theta = \frac{1 + m}{2\,\varepsilon}\left[+\sqrt{1 + 4\,\varepsilon\,\frac{m\,\tau'}{(1 + m)^2}} - 1\right]$$

Dans la quantité entre parenthèses le radical a nécessairement le signe + car autrement aucune solution physique ne correspondrait à la fonction négative.

Si nous différentions la quantité :

$$\frac{4\,\varepsilon\,m\,\tau'}{(1 + m)^2}$$

par rapport à *m*, nous trouvons que sa valeur maximum s'obtient pour :

$$m = 1$$

Dans ce cas :

$$\frac{4\varepsilon m\tau'}{(1+m)^2} = \varepsilon\tau'$$

Cette quantité est généralement plus petite que 1, donc *à fortiori* dans les cas où

$$m \gtrless 1$$

Cette remarque nous permet de développer la valeur de θ en série :

Posant

$$4\varepsilon\frac{m\tau'}{(1+m)^2} = \mu$$

et

$$\frac{m\tau'}{1+m} = \varphi$$

on obtient la série convergente suivante :

$$(3) \qquad \theta = \varphi\left[1 - \frac{1}{4}\mu + \frac{1.3}{4.6}\mu^2 - \frac{1.3.5}{4.6.8}\mu^3 + \dots\right]$$

et

$$(4) \qquad t = t' - \theta$$

Cette formule nous permet une rapide discussion du problème physique.

Si les quantités ε, m, t' sont des quantités positives, on aura généralement :

$$\theta > o$$

$$\theta < \frac{m}{1+m}\tau'$$

c'est-à-dire que :

$$t' > t$$

On en déduit également :

$$t' - t < \frac{m}{1+m}(274 + t') < 274 + t'$$

et que

$$274 + t > o$$

Ainsi les valeurs de t tirées de notre équation sont toujours plus élevées que — 274°, ce qui devait être.

Dans le cas où l'on pose :

$$m = o$$

on en déduit :

$$t' = t$$

et

$$P' = P$$

Enfin si $m = \infty$
on observe pour t

$$t = -274°$$

Cette discussion suffit pour prouver la nécessité d'admettre un *zéro absolu correspondant à une longueur d'oscillation calorifique nulle.*

Afin de permettre un grand nombre d'observations successives avec nos thermo-dynamomètres, sans être obligé de faire aucun calcul de réduction, nous avons tracé une courbe à grande échelle des pressions P par rapport aux températures t. Cette courbe n'est que l'expression graphique de l'équation générale.

Les abscisses représentent les températures, les ordonnées, les pressions.

Dans cette courbe, nous avons tenu compte des variations de la densité δ des vapeurs en fonction des pressions.

Enfin une correction spéciale aux variations de la densité du mercure est introduite par une courbe auxiliaire.

Cette correction correspond aux variations de la température du laboratoire qui, dans les cas extrêmes, comprennent des écarts assez grands.

Nous devons faire ici une remarque essentielle sur la signification physique des chiffres obtenus par cette courbe : La température t déduite de notre équation est la valeur numérique *de la température la plus basse* des parois du tube d immergé dans le liquide froid.

Si ce liquide n'est pas bien mélangé et que des couches de température variable se superposent, la température donnée par le thermo-dynamomètre sera celle de la couche la plus froide qui est en contact avec la chambre thermique.

Cette propriété des liquides volatils et de leurs vapeurs en vase clos est trop connue pour que nous insistions davantage sur ce sujet.

Nous voyons par là que, quelle que soit la température basse à mesurer, le mercure n'en sera nullement influencé ; il conserve sa température normale égale à celle du laboratoire, et ne risque en aucun cas de se congeler.

Les modifications dans la structure moléculaire du verre, sous l'action de très grands froids et de changements de température réitérés, n'ont également aucune influence sur les lectures cathétométriques qui seules sont consultées.

Lorsque l'on a à mesurer des températures supérieures à la température ambiante, comprises entre + 20 et

+ 70°, on se sert des autres thermo-dynamomètres contenant de l'éther sulfurique ou de l'eau distillée.

Il faut seulement dans ce cas introduire une modification indispensable à l'instrument tel que nous l'avons décrit.

Toute la partie *b c* et en particulier l'ampoule K et la branche *c* doivent être maintenues artificiellement à une *température supérieure* à celle que l'on veut mesurer.

On arrive facilement à ce résultat en immergeant toute la portion inférieure de l'instrument dans un vase de cristal que l'on remplit d'eau chaude ou d'huile chaude suivant les cas et que l'on renouvelle de temps en temps.

De cette manière la chambre thermique se partage en deux parties, l'une : l'ampoule et la branche *c* à une température constamment élevée ; l'autre l'extrémité *d* à une température moins haute.

Dans ces conditions, la distillation du liquide L sur le mercure ou contre les parois est impossible, et de plus la hauteur cathétométrique correspond uniquement à la température de *d* que l'on veut déterminer.

Pour relier entre eux tous ces instruments qui se partagent toute l'échelle des températures depuis + 200° jusqu'à — 180°, nous les avons disposés de telle sorte qu'ils enjambent tous un peu les uns sur les autres ayant des parties communes.

Les divisions inférieures d'un thermo-dynamomètre à eau correspondent aux divisions supérieures du thermo-dynamomètre à éther et ainsi de suite.

En faisant des observations simultanées avec deux instruments, on obtient des valeurs de *t identiques* par les deux lectures manométriques.

Ces deux instruments accusent cependant des dénivel-

lations du mercure extrêmement différentes, mais la valeur de *t* est obtenue par deux chemins qui convergent au même point, ce qui doit être si le principe fondamental de la théorie mécanique de la chaleur est absolument vrai.

Pour la *sensibilité*, condition des plus importantes, ces instruments la possèdent avec exagération même, si l'on peut redouter un excès en ce genre.

Quelques chiffres suffiront pour le prouver.

Entre + 10° et + 20°, la différence cathétométrique du mercure pour 1 degré centigrade correspond environ à 10 centimètres, dans un appareil à acide sulfureux.

Avec un vernier, on lit aisément le $^1/_{10}$ de millimètre, ce qui équivaut au millième de degré!

Dans les plus basses températures, on a comme limite de sensibilité le deux centième de degré.

Dans les températures supérieures, on arrive au $^1/_{5000}$e assez facilement.

Une expérience facile à faire pour démontrer la sensibilité de ces instruments consiste à placer un thermo-dynamomètre dans une chambre, de telle sorte qu'on puisse lire la hauteur du mercure sur la division F G au moyen d'une lunette fixée derrière la porte fermée de la chambre.

Quand on a fait plusieurs lectures, on entre dans la pièce et sans perdre de temps on va à l'instrument pour opérer une nouvelle lecture. Elle ne correspond plus à la précédente, la chaleur due au rayonnement du corps a suffi pour produire une dénivellation sensible du mercure de 1 à 2 millimètres, quelquefois plus.

Pour que cette expérience réussisse, il faut que la branche *d* soit dans l'air. Si elle était plongée dans un liquide, tout mouvement du mercure serait paralysé,

En comparant ces thermo-dynamomètres aux thermomètres actuellement en usage, nous pouvons établir le parallèle suivant :

THERMOMÈTRES	THERMO-DYNAMOMÈTRES
1° Les thermomètres sont basés sur un postulat scientifique qui n'est qu'imparfaitement vérifié par la loi des mélanges.	1° Les thermo-dynamomètres sont basés sur le second principe mécanique de la chaleur.
2° Les températures sont mesurées par des changements de volume.	2° Les températures sont mesurées par des hauteurs de mercure.
3° Toute irrégularité dans le calibre des tubes thermométriques est une cause d'erreur qui intéresse toutes les valeurs numériques de l'instrument.	3° Les températures sont entièrement indépendantes du calibre des tubes manométriques si l'on tient compte de la capillarité.
4° Dans tous les thermomètres à alcool, à mercure et à air les modifications moléculaires des parois des réservoirs changent le volume intérieur et déplacent le zéro.	4° Les températures sont indépendantes totalement des modifications moléculaires des réservoirs et des changements de volume des capacités intérieures.
5° Pour les basses températures, on extrapole sans aucun contrôle les indications des instruments.	5° Les températures sont rigoureusement données quelque basses qu'elles soient.
6° Il est difficile d'atteindre sûrement une approximation égale à $^{1}/_{20}$ de degré centigrade dans les limites ordinaires des observations.	6° Il est facile d'arriver au $^{1}/_{500}$ de degré dans toute l'étendue de l'échelle thermométrique comprise entre + 200° et — 180°.
7° Les thermomètres à air peuvent donner des indications assez précises jusqu'à + 500°.	7° Il est à peu près impossible de dépasser 250° sans rencontrer de grandes difficultés en pratique.

Nous donnerons avec tous les détails nécessaires les courbes correspondant à chaque thermo-dynamomètre ainsi que les calculs des approximations successives dans le mémoire que nous avons annoncé sur l'Étude de la température.

Dans ces pages, nous avons voulu seulement décrire ces instruments et la théorie sur laquelle ils ont été construits.

Chapitre III

Le Thermographe.

Dans le chapitre précédent nous n'avons parlé que des thermo-dynamomètres de laboratoire pouvant servir de *thermomètres étalons* dans toutes les expériences où une très-grande exactitude est nécessaire.

Nous avons légèrement modifié cet appareil pour le rendre apte à l'enregistrement automatique des températures, afin qu'il puisse servir, soit aux observations météorologiques soit aux observations de longue haleine dans les cabinets de physique.

C'est cet instrument modifié qui s'appelle *thermographe.* Nous l'avons représenté par un dessin schématique dans les figures 2 et 3 de la planche I.

Pour se rendre un compte exact des détails essentiels de sa construction, supposons que nous ayions un thermodynamomètre à acide sulfureux du modèle décrit dans le chapitre précédent.

Nous cassons la pointe effilée du tube *a, b, c, d* (fig. 1) en *e,* extrémité qui avait été soufflée au chalumeau à la fin des opérations de remplissage.

Dès que la pression atmosphérique pénètre dans le tube et agit sur le mercure, celui-ci descend et occupe une nouvelle position fixe après quelques oscillations.

Cette position diffère de la précédente de la hauteur barométrique en la station où se trouve l'instrument.

A part cette différence le niveau du mercure suivra toutes les oscillations dues aux changements de la tempé-

rature de la branche *d* comme si le vide avait été maintenu sur le ménisque supérieur N dans la partie *a* du tube.

Ainsi, si la pression atmosphérique ne variait pas, on n'aurait au bord de la mer qu'à ajouter 760 millimètres à la valeur de P observée pour avoir la tension exacte des vapeurs à toute température.

Mais la pression atmosphérique varie; il faut voir quelle est son influence sur les indications de l'appareil.

Si nous plongeons la branche *d* dans de la glace fondante et que nous prenions la position N du ménisque correspondant à la pression atmosphérique normale, il nous est facile d'observer les deux relations suivantes entre les mouvements du baromètre et ceux du thermo-dynamomètre :

1° Si le baromètre *monte* de *n* millimètres, le ménisque du thermo-dynamomètre *baissera* de *n* millimètres ;

2° Si le baromètre *baisse*, le thermo-dynamomètre *monte* d'une même quantité.

Telle est l'influence des variations barométriques dont l'explication est évidente.

Il faudra donc toujours, si l'on veut une grande précision dans l'évaluation des températures, tenir compte des changements de la pression atmosphérique.

Dans nos climats, les variations extrêmes de la température peuvent être comprises entre les limites — 20° et + 40°.

Il est si rare qu'elles dépassent ces valeurs qu'un enregistrement automatique peut se borner à rester dans ces limites.

Entre ces deux températures extrêmes — 20 et + 40 le niveau du mercure dans la branche *a* subit une déni-

vellation de 4211,04 millimètres, c'est-à-dire plus de 4 mètres et vingt centimètres.

Une ascension aussi considérable dans le tube vertical permettra facilement l'enregistrement automatique des températures.

Il suffit pour cela de donner au tube manométrique un diamètre suffisant et de faire flotter à la surface du mercure un flotteur de fer.

Ce flotteur entraînera un fil dont l'autre extrémité conduira l'appareil enregistreur.

Voici du reste l'explication des figures schématiques 2 et 3 de la planche I qui représentent l'instrument.

Dans la figure 2 (élévation) le tube manométrique est représenté en E B N A. Nous n'avons dessiné que la portion supérieure.

Le niveau du mercure arrive en N. Le flotteur B est un petit cylindre de fer poli alézé avec un millimètre de jeu dans le tube manométrique.

Un fil métallique C s'attache au flotteur B et s'enroule sur un tambour de 26 centimètres de diamètre T.

Ce tambour est fixé sur un axe OO′ (fig. 2, Plan) de telle sorte que la verticale, tangente à la circonférence, passe par l'axe du tube manométrique.

En plan le tube A B E se projette sur une circonférence dont le centre correspond au bord extérieur du tambour T.

Le fil C après s'être enroulé sur la circonférence de T descend verticalement de l'autre côté et supporte un contre-poids B′ égal à B.

L'axe de rotation OO′ du tambour T tourne très librement sur galets de manière à éviter presqu'entièrement les frottements.

Entre les écarts de température sus-mentionnés, le fil se déroulera sur une longueur de plus de 4 mètres et fera faire environ 5 révolutions $^1/_2$ au tambour T.

On ne peut pas songer à enregistrer en *grandeur naturelle* des déplacements aussi considérables, il faut nécessairement les réduire.

On doit discuter d'abord l'*échelle de réduction* et la *méthode de réduction.*

Nous avons vu que les variations de *t* n'entraînent pas des variations égales de P, mais des variations implicitement contenues dans l'équation générale.

Ainsi entre — 5° et — 4°, le mercure monte de 41,11 millimètres; entre + 35° et + 36 l'ascension est de 125,5 millimètres.

Pour une différence de 1 degré dans la valeur de *t*, les ascensions du mercure peuvent varier du simple au triple suivant une fonction continue.

Il résulte de cette circonstance que si l'on se contente de réduire purement et simplement le mouvement du mercure et à l'enregistrer tel quel, les degrés marqués par le crayon ne seront pas égaux.

Dans les basses températures, les distances entre deux degrés consécutifs seront courtes; pour les températures plus élevées, ces distances seront considérablement plus accusées.

Nous nous sommes en conséquence proposé de rendre tous les degrés égaux au moyen d'une courbe auxiliaire de réduction, de manière à annuler ces différences dans la valeur linéaire des degrés.

De plus, considérant qu'en pratique, si l'on adopte 1 centimètre pour représenter 1 degré, on obtient une exactitude suffisante, qu'on peut sans difficulté enregis-

trer sur du papier large de 60 centimètres correspondant aux 60 degrés compris entre les limites extrêmes de la température, nous en déduisons les valeurs numériques des dimensions de l'appareil enregistreur.

Voici le détail de cet instrument :

Sur le tambour T qui est conduit par le fil C et sur le même axe O O′, nous fixons une *fusée* S destinée à recevoir un autre fil C′.

Cette fusée est calculée de telle sorte que le fil C′ se déroule de quantités égales pour d'égales variations de t; chaque degré de l'échelle centigrade correspondant à une des valeurs successives de t.

Les plus grands rayons de la spire développent le fil lorsque la température est basse.

Au fur et à mesure que la température t s'élève, le rayon de la fusée diminue.

Cette courbe correctrice, dont le calcul sera donné dans le chapitre suivant, est entièrement aplatie, c'est-à-dire qu'on a donné au pas la plus petite valeur possible.

Cette disposition permet une grande précision dans la construction de cette spire, d'après les résultats du calcul, et n'augmente que faiblement le poids du tambour T muni de cette fusée.

Le fil C′, qui s'enroule sur la fusée S, passe sur la gorge d'une roulette R. De là le même fil passe sur une seconde roulette G, puis sur une troisième H. Enfin l'extrémité du fil C′ s'attache à un petit contre-poids P.

Entre les deux roulettes G et H, le fil est horizontal. C'est dans cette portion que se font les enregistrements.

Pour cela le fil entraîne un crayon soutenu dans une gaîne F. Ce crayon se promène sur un papier large de 60 centimètres, mu constamment par un mouvement

uniforme dans une direction perpendiculaire au plan du dessin (fig. 2 élévation).

Le mouvement d'entraînement du papier est produit par un mécanisme d'horlogerie régularisé par un pendule.

Nous avons adopté comme vitesse de développement le rapport de 1 centimètre pour une heure.

Ainsi la température de chaque jour sera représentée par une courbe tracée sur 24 centimètres de longueur.

Dans la figure nous n'avons indiqué que la roue V commandée par le mouvement d'horlogerie. C'est cette roue qui actionne le papier de l'enregistreur.

Un crayon fixé au support de l'instrument marque constamment le 0°, de telle sorte que les valeurs absolues de la température sont données par une simple lecture millimétrique.

Comme le mouvement du crayon n'est en tout que de 60 centimètres, tandis que les dénivellations du mercure atteignent 4 mètres 20, les amplitudes sont réduites et les frottements deviennent très faibles, ce qui permet d'obtenir une grande sensibilité dans les indications marquées sur le papier.

Les temps perdus sont presque nuls.

Comme cet instrument est destiné à enregistrer les températures de l'atmosphère extérieure aussi bien que celles des liquides contenus dans des chambres closes, nous avons dû modifier le dispositif de la chambre thermique des thermo-dynamomètres.

Ordinairement, les thermomètres dont on se sert dans les observatoires, pour relever les températures de l'air, sont placés à une certaine distance de l'édifice, afin de les soustraire à l'influence d'une habitation plus ou moins chauffée.

On peut entourer ces thermomètres de cloisons à jour, suffisantes pour éviter l'action directe des rayons solaires et permettant cependant, soit au vent, soit aux courants d'air, de donner à ces instruments la température *de l'air à l'ombre.*

Pour que le thermographe fournisse des indications absolument comparables à celles de ces thermomètres, il est nécessaire que la chambre thermique soit placée dans les mêmes conditions.

Cette nécessité, dictée par la nature même des observations à faire, nous a obligés à changer la construction du réservoir à acide sulfureux dont les tensions seront enregistrées par le thermographe.

Toute la partie de l'appareil, composée des pièces représentées dans la figure 2 est installée dans l'intérieur de l'observatoire, à l'abri du vent et des intempéries.

Le bas du tube E A est mastiqué dans une douille en fer terminée par un petit raccord à pas de vis.

Sur ce raccord on fixe solidement l'extrémité d'un long tube en fer, tel qu'on sait aujourd'hui les construire pour les besoins industriels.

Ces tubes sont d'un petit diamètre ce qui les rend souples; de plus ils peuvent résister à de fortes pressions sans se rompre.

M. Cailletet les a employés avec succès dans son appareil pour la liquéfaction des gaz permanents où les pressions ont atteint 300 atmosphères.

Ce long tube de fer, à partir de l'extrémité inférieure de la colonne manométrique, se déroule hors du bâtiment jusqu'aux petites constructions volantes où s'abritent les instruments météorologiques.

On enfouit ce tube sous terre pour éviter les accidents

traumatiques qui pourraient facilement survenir sans cette précaution, et après l'avoir posé comme un tube de gaz, on en relève l'extrémité terminale dans la cage des thermomètres.

Dans la figure 3 (Planche I) nous représentons ce long tube de fer par U.

Cette extrémité du fil se soude à un réservoir de fer ayant la forme d'un cylindre placé verticalement. On alèze l'intérieur de ce cylindre pour lui donner un diamètre rigoureusement égal partout.

Ce réservoir a une capacité variable suivant les circonstances, mais il convient de lui donner environ 400 à 500 centimètres cubes.

Voici du reste son emploi et les conditions qui règlent ses dimensions :

Ce réservoir est destiné à recevoir soit le mercure, qui permettra l'ascension du flotteur dans le tube manométrique de l'observatoire, soit l'acide sulfureux liquide dont les tensions indiqueront la température extérieure de l'air.

Il faut donc nécessairement que la capacité de ce réservoir *soit au minimum égale* à la capacité de la colonne manométrique.

Si l'on suppose que cette colonne ait 12 millimètres de diamètre intérieur, son volume pour une dénivellation de $4^{m},20$ sera de 420 centimètres cubes environ.

De plus, il doit y avoir une chambre thermique dont la capacité ne peut pas être trop réduite ; ainsi en donnant 500 centimètres cubes au réservoir, on se trouve dans de bonnes conditions.

Au sommet de ce cylindre réservoir se trouve un bouton à vis, capable de faire un joint hermétique par l'écrasement d'une rondelle métallique.

C'est par cet orifice que l'on pratique l'introduction du mercure et du liquide volatil.

On transporte dans l'observatoire une pompe pneumatique et l'on établit une communication entre le sommet du tube manométrique et cette pompe.

Cette disposition permet de faire le vide dans toute la canalisation.

Un grand entonnoir de verre est fixé sur l'orifice supérieur du réservoir cylindrique au moyen d'un tube de caoutchouc que l'on peut étrangler à volonté.

On remplit l'entonnoir de mercure parfaitement propre, sec et bien filtré, en ayant soin pendant ce remplissage d'étrangler le caoutchouc qui ferme l'entonnoir à sa pointe.

Pendant ce temps, on fait le vide dans toute la canalisation au moyen du jeu de la pompe pneumatique.

Lorsque le vide est suffisant, on ouvre en plein la communication qui permet au mercure de descendre dans le réservoir cylindrique; le niveau baisse rapidement dans l'entonnoir, mais on verse constamment du mercure pour empêcher l'air extérieur de pénétrer avec le métal dans le cylindre.

Grâce à ces manœuvres, le mercure envahit toute la canalisation sans laisser de poche à air sur son parcours. On le voit bientôt apparaître dans l'observatoire à une certaine hauteur dans la colonne manométrique.

On laisse alors rentrer l'air par la pompe pneumatique et l'on enlève l'excès de mercure introduit dans le réservoir cylindrique.

Pour que ces opérations soient commodes et même réalisables, il est essentiel de connaître au préalable la hauteur relative du réservoir extérieur et de la base de la colonne manométrique.

Au moyen de quelques coups de niveau, on sait d'avance quelle sera la hauteur approximative du mercure dans la colonne manométrique lorsque le mercure aura pris son niveau dans les deux appareils.

La pression atmosphérique ordinaire correspond à la tension maximum des vapeurs d'acide sulfureux à — 10°.

Par conséquent, la limite minimum inférieure, qui sera atteinte par le mercure à une température extérieure égale à — 20° sera au plus à 30 centimètres plus bas.

Cette première constatation permet de connaître déjà sûrement les limites supérieure et inférieure des oscillations du mercure dans l'observatoire.

Dans le réservoir cylindrique, on laissera un vide d'environ 100 à 150 centimètres cubes au-dessus du ménisque M du mercure (fig. 3). Ce sera la capacité de la chambre thermique correspondant à — 10°.

Pour l'introduction de l'acide sulfureux, on se sert d'un siphon rempli de ce liquide volatil ; au moyen d'un petit tube de verre pénétrant dans l'intérieur de l'appareil, on injecte une certaine quantité de ce corps.

Immédiatement l'ébullition de l'acide liquide chasse tout l'air qui se trouvait sur le mercure.

Quand on juge que l'acide sulfureux remplit seul la chambre thermique, ce qui arrive presqu'instantanément, on visse à bloc le bouchon métallique et l'instrument est prêt à fonctionner.

Il est avantageux de déterminer expérimentalement le 0° correspondant à la glace fondante afin d'avoir un point de repère invariable, permettant la comparaison avec tous les autres thermomètres.

Pour cela on entoure le réservoir cylindrique d'un manchon fermé dans sa partie inférieure par une membrane de caoutchouc qui fait joint.

On remplit ce manchon de glace pilée que l'on alimente et renouvelle pendant plusieurs heures, afin d'être sûr que la température 0° soit bien atteinte.

Quand le ménisque N du mercure est stationnaire dans l'observatoire, on trace un trait correspondant à sa position sur la graduation cathétométrique.

Ce trait permet de fixer un crayon permanent qui donnera le zéro sur le papier roulant de l'enregistreur.

Étant données toutes ces dispositions, la coupe du réservoir cylindrique est représentée dans la figure 3 :

En M on voit le mercure, qui occupe un peu plus de la moitié de la capacité intérieure du réservoir.

Au-dessus du ménisque se trouve une petite épaisseur du liquide volatil I qui est variable suivant les cas et la méthode employée pour le remplissage.

Enfin la chambre thermique est représentée en K. C'est l'espace occupé par les vapeurs saturées d'acide sulfureux.

Les Corrections.

Ainsi que nous l'avons dit précédemment, les variations de la pression atmosphérique modifient, en sens inverse et d'une quantité égale numériquement, les oscillations du mercure dans la colonne manométrique du thermographe.

Il est donc nécessaire de tenir compte de ces perturbations et d'estimer l'importance qu'elles ont dans la mesure des températures.

En examinant les courbes données par les indications du baromètre, on voit que *bien rarement* les oscillations du mercure dépassent 2 centimètres au-dessus ou au-

dessous de la position normale. Ces écarts même sont anormaux et ne se présentent qu'à de longs intervalles.

Si nous admettons que le thermographe soit réglé à 0° cèntigrade sous la pression normale, les plus grands écarts dont il faudra tenir compte s'expriment par

$$\pm 20 \text{ millimètres.}$$

Les variations du baromètre dans ces limites sont sensiblement indépendantes des saisons, du jour, de la nuit et des moyennes des températures.

Ainsi ces écarts représenteront une perturbation dans la lecture des températures plus grande dans les saisons froides que dans les saisons chaudes. Dans celles-ci un degré centigrade correspond à environ 10 centimètres d'élévation du mercure, dans celles-là à 7 centimètres seulement.

Si donc l'on ne corrige pas l'influence des variations barométriques, l'erreur qui entache les chiffres obtenus sera comprise entre

$$0 \text{ et } \pm \tfrac{1}{5} \text{ de degré en été}$$

et entre

$$0 \text{ et } \pm \tfrac{2}{7} \text{ en hiver.}$$

Il faut cependant ajouter que les moyennes mensuelles ne seront jamais affectées d'écarts aussi grands, car les fortes dénivellations du baromètre sont toujours de courte durée.

Pour tenir compte exactement des variations perturbatrices du baromètre, il suffit d'établir un *barographe* qui trace lui-même sur le papier du thermographe les oscillations de la pression atmosphérique.

On dispose cet enregistrement de telle sorte que les oscillations positives du baromètre s'enregistrent négativement, mais en grandeur naturelle sur le papier.

Un système très simple de réduction donne alors, au moyen d'une lecture tabulaire, la valeur exacte de la température avec toute l'approximation désirable [1].

Une seconde correction qu'il est nécessaire d'apporter dans cet appareil, de même que dans le thermo-dynamomètre, provient de la variation de la densité du mercure suivant la température de l'observatoire.

Ces corrections sont identiques à celles connues sous le nom de : hauteur ramenée à 0° et ne présentent aucune espèce de difficulté.

Enfin on peut se demander quelle espèce de perturbation produirait une petite quantité d'air emprisonnée dans la chambre thermique avec l'acide sulfureux.

Nous constaterons d'abord que cette quantité sera toujours excessivement, minime si l'on procède au remplissage ainsi que nous l'avons exposé.

Nous avons fait une série de recherches avec des thermo-dynamomètres, dans lesquels nous avons laissé un peu d'air dans la chambre thermique. Ces expériences nous ont conduit à ce résultat :

Si l'on met deux thermo-dynamomètres, l'un sans air, l'autre avec un peu d'air au 0° centigrade, et qu'on mesure exactement la hauteur du mercure, on lit deux hauteurs différentes dans les deux instruments.

Dans le 1er la hauteur est égale à P.

[1] On peut aussi tenir compte des variations de la pression atmosphérique due à la dénivellation du ménisque supérieur N. Le maximum des écarts, soit $4^{m},20$, correspond à environ 0,4 millimètre, soit $^{1}/_{800}$ de degré.

Dans le 2e la hauteur est égale à $P + h$.

h représente donc l'action manométrique de l'air enfermé dans la chambre thermique.

Si nous plaçons ces deux mêmes instruments dans de l'eau à + 20° par exemple nous trouvons :

Pour le 1er une hauteur P'.

Pour le 2e une hauteur $P' + h$.

h dans cette seconde expérience est exactement égal à h dans la première.

Il est cependant à noter que h doit toujours être très petit, car dès que sa valeur devient plus grande, égale à 35 ou 40 centimètres de mercure, la hauteur h donnée par les lectures aux différentes températures selon la méthode précédente, n'est plus constante mais va constamment en diminuant.

Ainsi dans le thermographe, où l'on peut être certain que la quantité d'air emprisonné dans l'appareil est très faible, on pourra aisément déterminer la valeur de

$$P^\circ + h \text{ à } 0^\circ$$

qui servira de point de repère fixe pour la mesure de toutes les températures.

Une dernière correction, dont on tient compte du reste dans la construction de la courbe héliçoïdale S (Planche II, fig. 2), consiste dans l'estimation de la hauteur absolue des colonnes de mercure en fonction des températures et des diamètres : soit de la colonne manométrique placée dans l'observatoire, soit du réservoir cylindrique fixé au dehors du bâtiment.

En effet l'enregistreur ne marque que les dénivellations du mercure dans la colonne manométrique, tandis que les hauteurs réelles sont représentées par la *somme des dénivellations* dans les deux endroits.

En appelant :

H la dénivellation mesurée dans l'observatoire ;

h la dénivellation dans le réservoir cylindrique, on a comme valeur numérique le P correspondant à la température $t°$ l'équation :

$$P = H + h.$$

D'un autre côté si l'on représente par :

$$R = \text{rayon du réservoir cylindrique}$$

et par

$$r = \text{rayon de la colonne manométrique}$$

les surfaces de ces cylindres seront entre elles dans le rapport :

$$\frac{\pi R^2}{\pi r^2} = \frac{R^2}{r^2}$$

Les dénivellations dans les deux cylindres correspondant à un même volume seront en raison inverse des sections, ce qui nous donne la relation :

$$\frac{h}{H} = \frac{r^2}{R^2}$$

d'où l'on tire :

$$H h = \frac{r^2 H}{R^2}$$

et la valeur numérique de P devient :

$$P = H + \frac{H r^2}{R^2}$$

ou

$$P = H \left(1 + \frac{r^2}{R^2}\right)$$

C'est au moyen de cette valeur de P que la correction relative à la différence des diamètres des cylindres s'introduit dans la construction de l'instrument.

Le fil C′ qui s'enroule sur la fusée S (fig. 2) étant assez long, subit des variations dont on doit tenir compte dans l'estimation des températures.

En général sa longueur sera d'au moins 4 mètres à $4^m,50$ entre son point de tangence et la pointe du crayon.

Les changements de température du local pourront donc modifier la position de la courbe tracée et il faut introduire dans l'instrument un système *de compensation.*

En supposant que ce fil C′ soit de métal dont le coefficient de dilatation α est connu, on aura pour l'acier, le cuivre et le fer les valeurs :

Cuivre : $\alpha = 0,000017$
Acier : $\alpha = 0,0000115$
Fer : $\alpha = 0,0000125$

Admettant que les plus grandes variations possibles dans la température de l'observatoire soient de 30 degrés, l'allongement L du fil pour les positions extrêmes serait:

Cuivre : $L = 4^m,50 \times 30 \times 0,000017 = 2,295$ millimètres.
Acier : $L = 4^m,50 \times 30 \times 0,0000115 = 1,552$ »
Fer : $L = 4^m,50 \times 30 \times 0,0000125 = 1,687$ »

On peut régler le fil C′ pour une température moyenne ce qui réduit de moitié l'écart maximum.

En choisissant un fil d'acier, le plus grand écart se réduit à

$$L = 0,776 \text{ millimètre.}$$

Cette longueur représente, à l'échelle où s'enregistrent les températures moyennes, une valeur de

0,0776 de degré centigrade.

Il est possible d'annuler totalement l'influence des variations de la température en fixant une des roues R, qui communiquent le mouvement au crayon, sur un support légèrement mobile.

Ce support est une verge composée de deux métaux comme la spire du thermomètre métallique de Bréguet.

Les flexions que subit cette tige sous l'influence des variations de la température, déplacent l'extrémité libre de cette tringle compensatrice.

C'est à cette extrémité que l'on a fixé la roue R.

Tout déplacement de la roue R entraîne un déplacement concomitant du crayon; on pourra donc calculer les longueurs de la tige compensatrice, de telle sorte que le déplacement de la roue R *compense exactement* l'allongement du fil.

Nous n'indiquerons qu'en passant la correction qui tient compte du poids de la couche du liquide volatil I, fig. 3.

Cette couche est éminemment variable suivant les cas, mais son influence numérique en millimètres de mercure est constante et se trouve comprise dans la première détermination du 0° de l'instrument.

Dans la mensuration des températures, la variation de l'épaisseur de cette couche du liquide ne modifie pas les chiffres trouvés, car le poids du liquide qui se transforme en vapeur continue à agir sur le ménisque à l'état gazeux.

Telles sont les principales corrections à apporter aux indications du thermographe, fonctionnant dans un observatoire, lorsqu'on désire obtenir la plus grande pression.

Chapitre IV

Construction et Épure de la courbe du Thermographe.

Dans la planche I, figure 2, nous avons donné un croquis de la disposition générale du thermographe ainsi que de l'agencement utilisé pour la communication du mouvement du mercure au crayon enregistreur.

Nous allons maintenant développer ce qui concerne particulièrement la courbe héliçoïdale de réduction, courbe qui est désignée par S dans la figure.

Dans la figure 4 du texte nous représentons la courbe S sur laquelle s'enroule le fil et la roulette R qui le reçoit tangentiellement.

La courbe S tourne autour de O pour centre; la circonférence R pivote sur son axe O'.

Les mouvements angulaires de S et de R doivent être entre eux, à un facteur constant près, comme la force élastique d'une vapeur est à la température correspondante de saturation.

Désignons par : P la force élastique de cette vapeur à la température t, par r le rayon du tambour et par h le mouvement du crayon correspondant au degré centigrade.

Une variation élémentaire :

$$dP$$

de la force élastique fait varier la position d'un point du fil d'une quantité égale à :

$$\overline{OP} \times \frac{dP}{r}\cdot$$

$\overline{OP}$ étant la perpendiculaire (fig. 4), abaissée du centre

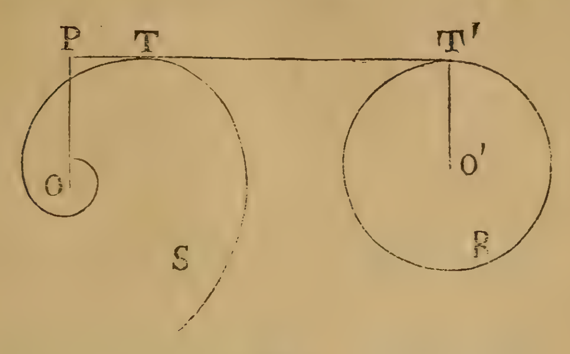


Fig. 4.

O du tambour sur le fil TT', tangent à la fois à la spirale S et la roulette R.

Cette variation est par hypothèse égale à :

$$h\,d\,t,$$

donc l'équation :

$$\overline{OP}\,\frac{dP}{r} = h\,d\,t$$

servira à déterminer la courbe S.

On en tire :

$$\overline{OP} = \frac{r\,h\,d\,t}{dP}.$$

L'équation générale que nous avons donnée entre t et P dans les chapitres précédents, nous permet de calculer les valeurs de P à toutes les températures avec la plus grande exactitude.

Pour calculer la longueur $\overline{\mathrm{O\,P}}$, soit la perpendiculaire abaissée du centre de rotation O sur la tangente T T′, (fig. 4), il faut obtenir la dérivée

$$\frac{dP}{dt}.$$

Pour cela on peut employer deux moyens :

Le premier consiste à différentier l'équation fondamentale.

Le second consiste à employer les différences première et seconde de P sorties d'un tableau numérique calculé au moyen de l'équation fondamentale.

On sait que la dérivée est sensiblement égale à la différence première augmentée de la moitié de la différence seconde.

Entre des températures de — 20° et + 40°, on obtient par ce moyen une exactitude suffisante si, dans ce tableau, P est calculé de degré en degré.

Voici le calcul des dérivées première et seconde.

Nous avons l'équation:

$$(1) \quad l\left(\frac{P'}{P}\right)=\frac{[\lambda'+(c-k)(t'-t)]\,431\times 1{,}293\,\delta\,274\,(t'-t)}{10333\,[(274+t')^2-(274+t')(t'-t)]}$$

On peut remplacer le dénominateur par l'expression:

$$10333\,(274+t')(274+t)$$

Posant les égalités auxiliaires suivantes:

$$A = \frac{431 \times 1{,}293\,\delta \times 274}{10333}$$

$$\varepsilon = \frac{c - k}{\lambda'}$$

l'équation devient :

$$l\left(\frac{P'}{P}\right) = \frac{A\lambda'}{274 + t'}\ \frac{[1 + \varepsilon(t' - t)]\,(t' - t)}{274 + t}$$

Transformant cette équation logarithmique en une exponentielle, on a pour la valeur de P en fonction de t la relation :

$$(2) \qquad P = P'\,e^{-\frac{A\lambda'}{274+t'}\ \frac{[1+\varepsilon(t'-t)](t'-t)}{274+t}}$$

Or pour notre calcul nous désirons obtenir les dérivées première et seconde. Soit :

$$\frac{dP}{dt} \text{ dérivée première}$$

et

$$\frac{d^2P}{dt^2} \text{ dérivée seconde.}$$

Nous considérons P' et t' comme des quantités constantes ; ce sont les paramètres correspondant à la température fixe prise comme point de repère.

Différentions l'équation (2) par rapport aux variables P et t.

Nous obtenons l'équation différentielle suivante :

$$(3) \qquad \frac{dP}{dt} = -\frac{AP'\lambda'}{274+t'} e^{-\frac{A\lambda'}{274+t'} \frac{[1+\varepsilon(t'-t)](t'-t)}{274+t}} \times$$

$$\times \frac{d\left[\frac{[1+\varepsilon(t'-t)](t'-t)}{274+t}\right]}{dt}$$

En différentiant le dernier facteur du second nombre on a :

$$\frac{d\left[\frac{[1+\varepsilon(t'-t)](t'-t)}{274+t}\right]}{dt} = -\frac{1+2\varepsilon(t'-t)}{274+t} - \frac{t'-t}{274+t} \frac{1+\varepsilon(t'-t)}{274+t}$$

En substituant cette différentielle dans l'équation (3) on obtient l'équation (4)

$$(4) \quad \frac{dP}{dt} = AP'\lambda' \frac{1+2\varepsilon(t'-t)+\frac{(t'-t}{274+t}[1+\varepsilon(t'-t]}{(274+t')(274+t)} \times$$

$$\times\, e^{-\frac{A\lambda'}{274+t'} \frac{[1+\varepsilon(t'-t)](t'-t)}{274+t}}$$

Pour simplifier cette équation posons les égalités suivantes :

$$274+t' = T'$$

$$274+t = T$$

et réduisons par quelques simplifications :

L'équation différentielle devient :

$$(5)\qquad \frac{dP}{dt} = \frac{A P' \lambda'}{T'} \frac{T' + \varepsilon (T'^2 - T^2)}{T^2} e^{-A\lambda' \frac{(T'-T)[1+\varepsilon(T'-T)]}{TT'}}$$

Dans cette équation le premier membre est la dérivée première cherchée, le second membre ne contient que des quantités connues et la variable T d'où dépend cette dérivée.

En effet :

A, P', λ', T', ε se rapportent à un état initial du liquide et de ses vapeurs.

T est la seule variable indépendante.

La valeur de la dérivée première

$$\frac{dP}{dt}$$

est donc donnée *explicitement*.

On peut calculer tabulairement ces dérivées sans *aucune interpolation empirique*.

Pour obtenir la dérivée seconde

$$\frac{d^2P}{dt^2}$$

il nous faut différentier une seconde fois l'équation (5) en nous servant des mêmes abréviations.

On obtient l'équation (6)

$$(6)\qquad \frac{d^2P}{dt^2} = \frac{A P' \lambda'}{T'} e^{-A\lambda' \frac{(T'-T)[1+\varepsilon(T'-T)]}{TT'}} \times$$

$$\times \left[\frac{d\left[\frac{T' + \varepsilon(T'^2 - T^2)}{T^2}\right]}{dt} - A\lambda' \frac{d\left[\frac{(T'-T)[1+\varepsilon(T'-T)]}{TT'}\right]}{dt} \right]$$

Pour simplifier l'équation (6) nous utiliserons deux identités que voici :

$$\frac{d\left[\frac{(T'-T)[1+\varepsilon(T'-T)]}{T\,T'}\right]}{d\,t}=-\frac{T'+\varepsilon(T'^2-T^2)}{T^2\,T'}$$

et l'autre :

$$\frac{d\left[\frac{T'+\varepsilon(T'^2-T^2)}{T^2}\right]}{d\,t}=-\frac{2\,T'(1+\varepsilon\,T')}{T^3}$$

En substituant ces valeurs dans l'équation (6) et réduisant, on obtient pour l'*expression explicite* de la dérivée seconde la formule (7)

$$(7)\quad \frac{d^2P}{dt^2}=\frac{A\,P'\lambda'}{T^3T'^2}\left[T'(1+\varepsilon\,T')(A\,\lambda'\,T-2\,T')-A\,\lambda'\,\varepsilon\,T^3\right]\times$$

$$\times\, e^{-A\lambda'\frac{(T'-T)\,[1+\varepsilon(T'-T)]}{T\,T'}}$$

Ces formules, contrôlées par des expériences directes faites avec les thermo-dynamomètres, nous ont permis de vérifier la dérivée première de la force élastique dont les valeurs sont contenues dans le tableau suivant :

TABLEAU

des différences premières et secondes de la force élastique des vapeurs de l'acide sulfureux par rapport aux températures.

TEMPÉRATURE en degrés centigrades	DIFFÉRENCE première de P en millimètres de mercure	DIFFÉRENCE seconde de P en millimètres de mercure	DÉRIVÉE $\frac{dP}{dt}$	TEMPÉRATURE en degrés centigrades	DIFFÉRENCE première de P en millimètres de mercure	DIFFÉRENCE seconde de P en millimètres de mercure	DÉRIVÉE $\frac{dP}{dt}$
— 20		0,90	23,56	+ 10		1,88	64,60
	24,01				65,54		
— 19		0,93	24,47	+ 11		1,92	66,50
	24,94				67,46		
— 18		0,96	25,42	+ 12		1,96	68,44
	25,90				69,42		
— 17		0,99	26,39	+ 13		2,00	70,42
	26,89				71,42		
— 16		1,02	27,40	+ 14		2,03	72,43
	27,91				73,45		
— 15		1,05	28,43	+ 15		2,07	74,48
	28,96				75,52		
— 14		1,08	29,50	+ 16		2,11	76,57
	30,04				77,63		
— 13		1,11	30,59	+ 17		2,15	78,70
	31,15				79,78		
— 12		1,14	31,72	+ 18		2,18	80,87
	32,29				81,96		
— 11		1,17	32,87	+ 19		2,22	83,07
	33,46				84,18		
— 10		1,20	34,06	+ 20		2,26	85,31
	34,66				86,44		
— 9		1,23	35,27	+ 21		2,30	87,59
	35,89				88,74		
— 8		1,26	36,52	+ 22		2,35	89,91
	37,15				91,09		
— 7		1,29	37,79	+ 23		2,39	92,28
	38,44				93,48		
— 6		1,32	39,10	+ 24		2,43	94,69
	39,76				95,91		
— 5		1,35	40,43	+ 25		2,47	97,14
	41,11				98,38		
— 4		1,39	41,80	+ 26		2,52	99,64
	42,50				100,90		
— 3		1,42	43,21	+ 27		2,56	102,18
	43,92				103,46		
— 2		1,45	44,64	+ 28		2,60	104,76
	45,37				106,06		
— 1		1,49	46,11	+ 29		2,65	107,38
	46,86				108,71		
0		1,52	47,62	+ 30		2,69	110,05
	48,38				111,40		
+ 1		1,55	49,15	+ 31		2,73	112,76
	49,93				114,13		
+ 2		1,59	50,72	+ 32		2,78	115,52
	51,52				116,91		
+ 3		1,62	52,33	+ 33		2,82	118,32
	53,14				119,73		
+ 4		1,66	53,97	+ 34		2,86	121,16
	54,80				122,59		
+ 5		1,70	55,65	+ 35		2,91	124,04
	56,50				125,50		
+ 6		1,73	57,36	+ 36		2,95	126,97
	58,23				128,45		
+ 7		1,77	59,11	+ 37		3,00	129,95
	60,00				131,45		
+ 8		1,81	60,90	+ 38		3,04	132,97
	61,81				134,49		
+ 9		1,85	62,73	+ 39		3,09	136,03
	63,66				137,58		
+ 10		1,88	64,60	+ 40		3,13	139,14

Nous avons donc tous les éléments pour calculer la longueur O P (fig. 4) et pour pouvoir passer au tracé graphique de la courbe correctrice S.

Pour tracer S par tangentes, le procédé graphique suivant, qui se passe d'ailleurs de toute démonstration, nous paraît être le plus avantageux, sous le rapport de la sim plicité et de l'exactitude.

On commence par tracer les cercles T et R du tambour et de la roulette (fig. 5), dans la position relative qu'on veut leur donner.

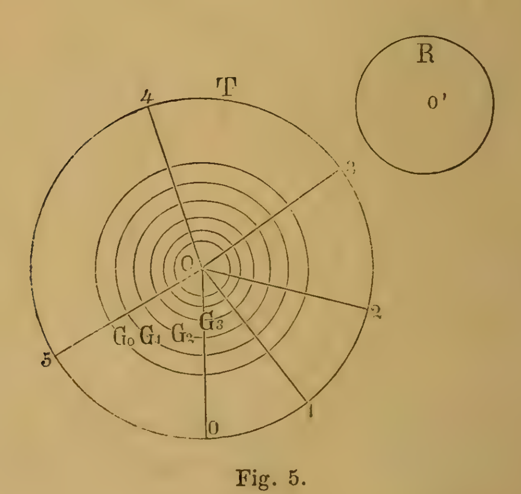


Fig. 5.

Sur la circonférence de T, on prend des arcs égaux aux valeurs de P et on subdivise ainsi le cercle en secteurs aux points *0, 1, 2, 3*... Calculant les valeurs de $\overline{OP}$ correspondant à ces points, on s'en sert comme de rayons pour tracer des cercles G_0, G_1, G_2...

Faisant tourner autour de O un cercle mobile de

papier transparent (fig. 5 *bis*), superposé au tracé précé-

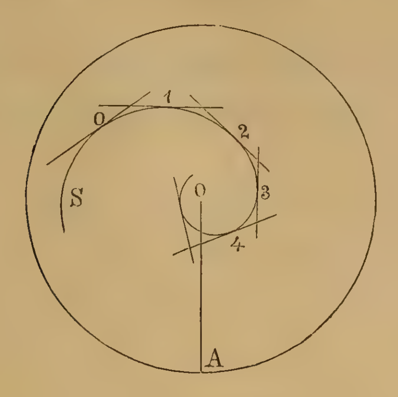


Fig. 5 *bis*.

dent, on fait constamment coïncider un rayon $\overline{OA}$ de ce cercle mobile avec les rayons des secteurs; puis, dans chaque position, on mène sur ce papier une tangente commune à R et au cercle G correspondant, que l'on aperçoit par transparence.

Ces droites figurent sur le cercle mobile un polygone qui est circonscrit à la courbe S cherchée.

Le procédé que nous venons d'exposer, qui n'est que l'application pure et simple d'un théorème de cinématique, nous fournit un tracé très correct de la courbe correctrice que nous emploierons dans le thermographe[1].

[1] D'ici à quelque temps, un thermographe, semblable à celui que nous avons décrit dans ce mémoire, fonctionnera à l'observatoire de la Ville de Genève. Nous nous faisons un plaisir d'offrir cet instrument à un établissement qui rend de si grands services à notre pays pour l'étude de l'astronomie et de la météorologie.

R. P.

Ce tracé graphique remplit entièrement le but que nous nous étions proposé d'atteindre dans ce chapitre.

Nous verrons dans le mémoire suivant le développement plus complet de ce problème envisagé d'une manière générale.

DEUXIÈME MÉMOIRE

Méthode générale d'intégration continue d'une fonction numérique quelconque.

Applications à la transmission de mouvements variés.

CHAPITRE I

Théorème fondamental des courbes solidaires.

Dans le mémoire précédent, nous avons été conduits à envisager un cas particulier de la transmission d'un mouvement rotatoire en un autre mouvement rotatoire, au moyen d'un fil inextensible tangent à deux courbes mobiles autour d'axes fixes.

La relation qui existe entre le développement du fil, pour une position quelconque de ces courbes, est dictée dans le thermographe par une relation physique entre la tension maximum des vapeurs d'un liquide volatil et la température correspondante.

Il nous a paru intéressant d'approfondir davantage cette question et de sortir de ce problème de cinémati-

que quelques rapports nouveaux entre les équations de courbes quelconques, lorsqu'on les astreint à la condition de solidarité au moyen d'un fil tangent et inextensible.

Nous appellerons dorénavant ce système de courbes reliées entre elles par un fil tangent et inextensible : *système de courbes solidaires.*

Afin de mieux fixer les idées, supposons deux courbes solidaires S et S′ (fig. 6).

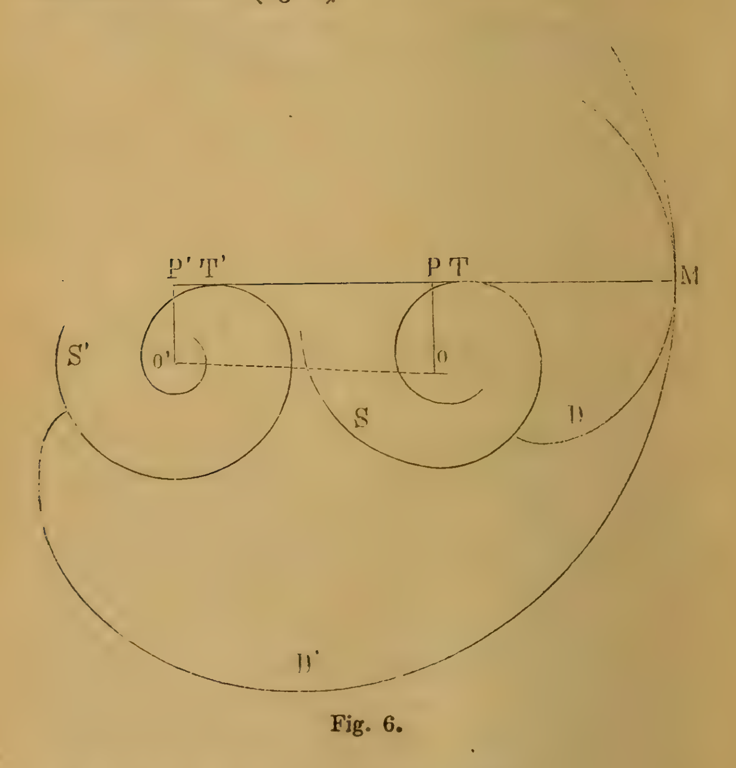


Fig. 6.

L'une S est représentée par l'équation :

$$S : F(x.y) = o$$

l'autre S′ a pour symbole :

$$S' : F'(x'y') = o$$

La première tourne autour d'un axe O pour centre, la seconde pivote autour de O′.

Nous appellerons α et α' les angles de rotation des deux courbes à partir d'une position initiale quelconque.

Le fil inextensible tangent aux deux courbes est représenté par P′ T′ P T M.

Nous voulons connaître la relation qui existe entre

$$F(x, y)$$

et

$$F'(x', y')$$

lorsque l'on a l'équation :

$$F_1(\alpha) = F_1'(\alpha')$$

Représentons dans la figure 6 une position quelconque du système.

Soit un point M du fil situé sur la tangente commune à S et S′. Menons par ce point M des développantes D et D′ aux courbes S et S′.

La courbe D est le lieu des positions que peut prendre ce même point M du fil déroulé autour de S supposée fixe; la courbe D′ est également la trajectoire du point M du fil déroulé autour de S′ supposée immobile.

Si maintenant on fait tourner simultanément les courbes S et S′ autour de O et O′, au moyen du fil T M T′,

ce dernier reste constamment normal en M aux courbes D et D', entraînées dans la rotation ; et l'on peut voir que *pendant le mouvement, les courbes D et D' rouleront l'une sur l'autre en restant en contact au point M du fil.*

En partant de ce principe on conçoit sans peine la conséquence suivante :

Si deux courbes D et D', situées dans un même plan, tournent chacune autour de deux points fixes O, O' du plan et sont astreintes à rester en contact continu l'une avec l'autre, les mouvements angulaires α et α' de l'une et de l'autre courbe ont constamment entre eux la même relation que si l'on remplaçait D et D' par leurs développées S et S', reliées entre elles par un fil tangent enroulé, flexible et inextensible.

On peut supposer que, la courbe S' restant immobile dans sa position initiale, le point O se déplace d'un angle α' autour du centre O', entraînant avec lui les courbes S et D, tandis que ces dernières font une rotation α autour de O.

Dans ces conditions, l'enveloppe des positions que prend D dans ce double mouvement, reste constamment normale à la tangente commune à S et S'.

Cette enveloppe n'est donc que la développante D' de S'.

Cette considération nous fournit un moyen de soumettre à l'analyse le mouvement produit par la rotation simultanée de S et S' autour de O et O'.

Cette étude fera l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE II

Application de l'analyse au cas où l'on a deux courbes solidaires planes quelconques.

Prenons dans la figure 7 pour axe des abscisses la ligne OO′ dans sa position initiale:

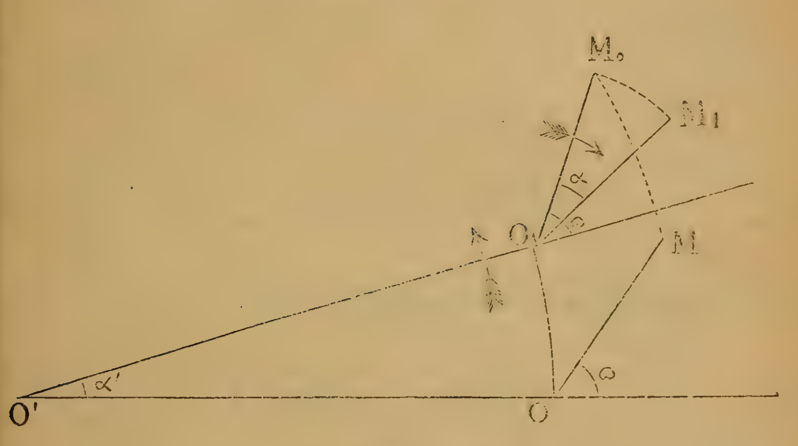


Fig. 7.

soient :

$x, y,$ les coordonnées de S :

X et Y celles de D, rapportées à l'origine O.

x', y'

et

X′, Y′ celles de S′ et D′ rapportées a O′ comme origine, dans la position initiale de ces courbes.

Il est entendu que les points (X, Y) (X′Y′) sont situés sur les tangentes à S et S′ en (x, y) et $(x'\ y')$, et que

les longueurs de ces tangentes sont égales à des arcs s et s' comptés à partir des points de naissance des développantes.

Ces deux conditions, qui caractérisent la développante donnent :

$$Y-y=\frac{dy}{dx}(X-x),$$

$$s^2=(X-x)^2+(Y-y)^2$$

d'où

$$\text{(a)}\qquad \left\{\begin{aligned} X-x&=-s\frac{dx}{ds},\\ Y-y&=-s\frac{dy}{ds}\end{aligned}\right.$$

et pareillement pour les courbes S′ et D′ :

$$\text{(a}'\text{)}\qquad \left\{\begin{aligned} X'-x'&=-s'\frac{dx'}{ds'},\\ Y'-y'&=-s'\frac{dy'}{ds'}.\end{aligned}\right.$$

Si maintenant (fig. 7) le point M (X,Y) de D se déplace d'un angle α' autour de O′ et d'un angle α autour de O, il vient en M_1, tandis que O est venu en O_1.

Soit ω l'angle que fait OM avec OO′.

O_1M_1 fait avec cet axe un angle égal à

$$\omega+\alpha'-\alpha;$$

d'autre part les coordonnées de O_1, rapportées à O', sont

$$l \cos \alpha'$$
$$l \sin \alpha'$$

en désignant par l la distance OO'.

Puis :

$$O_1 M_1 = O M = \sqrt{X^2 + Y^2}.$$

Donc les coordonnées de M_1, rapportées à l'origine O' et à l'axe OO', sont :

$$X_1 = l \cos \alpha' + \sqrt{X^2 + Y^2} \cos (\omega + \alpha' - \alpha)$$
$$Y_1 = l \sin \alpha' + \sqrt{X^2 + Y^2} \sin (\omega + \alpha' - \alpha)$$

ou bien

$$(b) \quad \begin{cases} X_1 = l \cos \alpha' + X \cos (\alpha' - \alpha) - Y \sin (\alpha' - \alpha) \\ Y_1 = l \sin \alpha' + X \sin (\alpha' - \alpha) + Y \cos (\alpha' - \alpha) \end{cases}$$

On déduit aisément de ces équations :

$$(b_1) \quad \begin{cases} X = - l \cos \alpha + X_1 \cos (\alpha' - \alpha) + Y_1 \sin (\alpha' - \alpha) \\ Y = - l \sin \alpha - X_1 \sin (\alpha' - \alpha) + Y_1 \cos (\alpha' - \alpha) \end{cases}$$

Ces deux dernières équations différentiées donnent après quelques simplifications :

$$(c) \quad \begin{cases} d X = \cos (\alpha' - \alpha) \, d X_1 + \sin (\alpha' - \alpha) \, d Y_1 + l \sin \alpha \, d \alpha' + \\ \quad + Y (d \alpha' - d \alpha) \\ d Y = - \sin (\alpha' - \alpha) \, d X_1 + \cos (\alpha' - \alpha) \, d Y_1 - l \cos \alpha \, d \alpha' - \\ \quad - X (d \alpha' - d \alpha) \end{cases}$$

On peut désigner différemment les parties de ces expressions qui se rapportent à une variation des mouvements angulaires α, α' ou à une variation du point X_1, Y_1 de D.

On écrira

$$dX = d_\alpha X + d_{x1} X$$
$$dY = d_\alpha Y + d_{x1} Y$$

Pour obtenir l'enveloppe D′ des positions D_1 de D, nous ferons usage de la méthode ordinaire; elle consiste ici à différentier les équations par rapport au paramètre variable α et aux quantités qui dépendent de ce paramètre.

Un point X′,Y′ de D′ se trouve ainsi déterminé par l'intersection de deux positions très-voisines de D_1.

Il faut donc faire varier les équations (b) ou (b_1) en posant

$$X_1 = X'$$
$$Y_1 = Y'$$

et en supposant ces dernières invariables.

Les variations des quantités X et Y sont alors réduites aux variations partielles :

$$d_\alpha X = l \sin \alpha \, d\alpha + Y(d\alpha' - d\alpha)$$
$$d_\alpha Y = - l \cos \alpha \, d\alpha = X(d\alpha' - d\alpha)$$

La normale à D au point M est tangente à S, qu'il y ait ou non un mouvement.

On a donc séparément :

$$\frac{d_\alpha Y}{d_\alpha X}\,\frac{dy}{dx}+1=0$$

$$\frac{d_{x'} Y}{d_{x'} X}\,\frac{dy}{dx}+1=0$$

ou bien

$$dy\,d_\alpha Y+dx\,d_\alpha X=0,$$

$$dy\,d_{x'} Y+dx\,d_{x'} X=0$$

Substituant les termes des expressions (c), dans cette équation, il vient après quelques réductions :

$$(Y\,dx-X\,dy)(d\alpha'-d\alpha)+(dx\sin\alpha-dy\cos\alpha)\,l\,d\alpha'=0$$

$$dX'\,[dx\cos(\alpha'-\alpha)-dy\sin(\alpha'-\alpha)]+$$
$$+dY'[dx\sin(\alpha'-\alpha)+dy\cos(\alpha'-\alpha)]=0$$

Les équations (a) donnent :

$$Y\,dx-X\,dy=y\,dx-x\,dy$$

On a également :

$$dy'\,dY'+dx'\,dX'=0$$

Nous obtenons donc d'une part :

(d) $(y\,dx-x\,dy)(d\alpha'-d\alpha)+(dx\sin\alpha-dy\cos\alpha)l\,d\alpha'=0$

et d'autre part :

$$dy'\,[dx\cos(\alpha'-\alpha)-dy\sin(\alpha'-\alpha)]=dx'[\,dx\sin(\alpha'-\alpha)+$$
$$+dy\cos(\alpha'-\alpha)]$$

Posant :

$$\frac{dy}{dx} = \text{tang}\,\varphi,$$

$$\frac{dy'}{dx'} = \text{tang}\,\varphi'$$

cette équation devient :

$$\text{tang}\,\varphi' \cos(\varphi + \alpha' - \alpha) = \sin(\varphi + \alpha' - \alpha)$$

d'où

$$\varphi' = \varphi + \alpha' - \alpha$$

On peut écrire :

$$\sin(\varphi' - \alpha') = \sin(\varphi - \alpha)$$

c'est-à-dire :

$$\frac{dy' \cos\alpha' - dx' \sin\alpha'}{ds'} = \frac{dy \cos\alpha - dx \sin\alpha}{ds}$$

Maintenant si l'on suppose que, S restant immobile, on fasse tourner la courbe S′ autour de O d'une manière semblable à celle dont nous avons envisagé le mouvement de S autour de O′, ou bien, ce qui revient au même, si l'on permute les accents indiqués sur la figure 7, opérant avec la même méthode et les mêmes raisonnements, on trouvera une formule semblable à la formule (d), mais dont les accents seront permutés ainsi que le signe de *l*. On aura ainsi l'équation (d′) :

$$(d') \quad (y'dx' - x'dy')(d\alpha' - d\alpha) + (dx' \sin\alpha' - dy' \cos\alpha')\, l\, d\alpha = o$$

On retrouverait aussi l'équation (e) identique à elle-même.

Nous pouvons maintenant réunir les résultats obtenus dans les équations (d) (e) et (d') et écrire la triple équation suivante, qui présente une certaine symétrie :

$$(1)\ \left\{\begin{aligned} &\frac{d\alpha' - d\alpha}{l\,d\alpha'}\ \frac{y\,dx - x\,dy}{ds} = \frac{dy\cos\alpha - dx\sin\alpha}{ds} = \\ &= \frac{d\alpha' - d\alpha}{l\,d\alpha}\ \frac{y'\,dx' - x'\,dy'}{ds'} = \frac{dy'\cos\alpha' - dx'\sin\alpha'}{ds'} \end{aligned}\right.$$

On peut encore introduire l'angle φ ou φ' que fait la tangente avec l'axe des x, et on a :

$$(2)\ \frac{d\alpha' - d\alpha}{l\,d\alpha'}(y\cos\varphi - x\sin\varphi) = \frac{d\alpha' - d\alpha}{l\,d\alpha}(y'\cos\varphi' - x'\sin\varphi') =$$

$$= \sin(\varphi - \alpha) = \sin(\varphi' - \alpha')$$

Par l'emploi de coordonnées polaires, on simplifie encore la forme de l'équation.

Posant

$$x = u\cos\theta$$

et

$$y = u\sin\theta,$$

on obtient :

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tang}\varphi = \frac{du\sin\theta + u\cos\theta\,d\theta}{du\cos\theta - u\sin\theta\,d\theta}$$

d'où

$$(f) \qquad \operatorname{tang}(\theta-\varphi) = -\frac{u\,d\theta}{du},$$

$$\operatorname{tang}(\theta'-\varphi') = -\frac{u'\,d\theta'}{du'}$$

Et l'équation (2) devient

$$(3) \quad \frac{d\alpha'-d\alpha}{l\,d\alpha'}\,u\sin(\theta-\varphi) = \frac{d\alpha'-d\alpha}{l\,d\alpha}\,u'\sin(\theta'-\varphi') =$$
$$= \sin(\varphi-\alpha) = \sin(\varphi'-\alpha')$$

Il est aisé de voir que

$$u \sin(\theta-\varphi),$$
$$u' \sin(\theta'-\varphi'),$$

sont les perpendiculaires OP, O′P′ (fig. 6).

Donc

$$\overline{\mathrm{OP}}\,d\alpha = \overline{\mathrm{O'P'}}\,d\alpha'$$

La relation

$$\varphi-\alpha = \varphi'-\alpha'$$

nous représente la condition de tangence commune du fil sur les deux courbes.

Si la longueur OO′ devient infinie, on a simplement, pour l'une des courbes

$$(4) \quad \begin{cases} \varphi = \alpha \\ \operatorname{tang}(\theta-\alpha) = -\dfrac{u\,d\theta}{du} \\ df = u\sin(\theta-\alpha)\,d\alpha \end{cases}$$

en désignant par f la distance d'un point du fil à l'axe des y, au signe près.

CHAPITRE III

Étude particulière du cas où l'une des courbes est un cercle.

On peut au moyen de l'équation (3) trouver, quand S est un cercle, les coordonnées de S' en fonction de α. Soit en effet

$$u = c$$

l'équation de la courbe S.

La formule (f) donne

$$\theta - \varphi = \frac{\pi}{2}$$

L'équation (3) devient

$$\varphi - \alpha = \varphi' - \alpha',$$

$$\sin(\varphi - \alpha) = \frac{c}{l}\left(1 - \frac{d\alpha}{d\alpha'}\right) = \sin(\varphi' - \alpha')$$

$$c\,d\alpha = u' \sin(\theta' - \varphi')\,d\alpha'$$

Différentiant la dernière équation on a :

$$\frac{du'}{u'} = \frac{d^2\alpha}{d\alpha} - \frac{d^2\alpha'}{d\alpha'} - \operatorname{cotg}(\theta' - \varphi')(d\theta' - d\varphi')$$

ce qui, joint à la 2me des équations (*f*) donne :

$$\operatorname{tang}(\theta' - \varphi') = \frac{d\varphi' \, d\alpha \, d\alpha'}{d\alpha \, d^2\alpha' - d\alpha' \, d^2\alpha}$$

On peut donc calculer successivement φ', $\frac{d\varphi'}{dx}$, θ' et u', ainsi que nous allons l'indiquer.

Posons :

$$\alpha' = \psi(\alpha)$$

les formules précédentes se transforment comme suit :

$$\sin(\varphi' - \alpha') = \frac{c}{l} \frac{d\alpha' - d\alpha}{d\alpha'},$$

$$(5) \begin{cases} \sin(\varphi' - \alpha') = \frac{c}{l}\left[1 - \frac{1}{\psi'(\alpha)}\right] \\ \frac{d\varphi'}{d\alpha} = \psi'(\alpha) + \frac{c\,\psi''(\alpha)}{l\,[\psi'(\alpha)]^2 \cos(\varphi' - \alpha')} \\ \operatorname{tang}(\theta' - \varphi') = \frac{\psi'(\alpha)}{\psi''(\alpha)} \frac{d\varphi'}{d\alpha} \\ \operatorname{tang}(\theta' - \varphi') = \frac{[\psi'(\alpha)]^2}{\psi''(\alpha)} + \frac{c}{l\,\psi'(\alpha)\cos(\varphi' - \alpha')} \\ u' = \frac{c}{\psi'(\alpha)\sin(\theta' - \varphi')} \end{cases}$$

Si l est assez grand pour être supposé infini, ces équations deviennent

$$(6)\quad \begin{cases} \varphi' = \psi(\alpha), \\ \operatorname{tang}(\theta' - \varphi') = \dfrac{[\psi'(\alpha)]^2}{\psi''(\alpha)}, \\ u' = \dfrac{c}{\psi'(\alpha)\sin(\theta' - \varphi')} \end{cases}$$

L'élimination de α dans ce cas est parfois possible. Soit par exemple :

$$\alpha' = \psi(\alpha) = e^{\alpha} = \psi'(\alpha) = \psi''(\alpha)$$

On aura :

$$\varphi' = \operatorname{tang}(\theta' - \varphi') = e^{\alpha},$$

$$u' = \frac{c\sqrt{1 + e^{2\alpha}}}{e^{2\alpha}}$$

On en déduit :

$$\varphi'^2 = e^{2\alpha} = \frac{c}{2u'^2}(c + \sqrt{c^2 + 4u'^2})$$

et on peut ainsi éliminer α.

Si l est grand, sans qu'on veuille le supposer infini, on peut développer en séries les expressions (5).

Posant :

$$\frac{c}{l}\left[1 - \frac{1}{\psi'(\alpha)}\right] = \mu.$$

$$\frac{c}{l}\frac{\psi''(\alpha)}{[\psi'(\alpha)]^2\cos(\varphi' - \alpha')} = \lambda.$$

$$\frac{[\psi'(\alpha)]^2}{\psi''(\alpha)}(1 + \lambda) = \frac{1}{\nu}$$

on calculera successivement, si ν est faible :

$$
(7)\left\{
\begin{aligned}
&\mu = \frac{c}{l}\left[1 - \frac{1}{\psi'(\alpha)}\right] \\
&\lambda = \frac{c\,\psi''(\alpha)}{l\,[\psi'(\alpha)]^2}\left(1 + \frac{1}{2}\mu^2 + \frac{1.3}{2.4}\mu^4 + \dots\right) \\
&\varphi' = \psi(\alpha) + \mu + \frac{1}{2}\frac{\mu^3}{3} + \frac{1.3}{2.4}\frac{\mu^5}{5} + \dots \\
&\nu = \frac{\psi''(\alpha)}{[\psi'(\alpha)]^2}(1 - \lambda + \lambda^2 - \lambda^3 + \dots) \\
&\theta' = \varphi' + \frac{\pi}{2} - \operatorname{arc\,tang} \nu = \varphi' + \frac{\pi}{2} - \nu + \frac{\nu^3}{3} - \frac{\nu^5}{5} + \\
&\quad + \frac{\nu^7}{7} \dots \\
&u' = \frac{c}{\psi'(\alpha)}\sqrt{1+\nu^2} = \frac{c}{\psi'(\alpha)}\left(1 + \frac{1}{2}\nu^2 - \frac{1}{2.4}\nu^4 + \right. \\
&\quad \left. + \frac{1.3}{2.4.6}\nu^6 - \dots\right)
\end{aligned}
\right.
$$

On peut aussi avoir une expression approchée du rayon de courbure ρ'.

On a en général :

$$
\rho' = \frac{ds'}{d\varphi'} = -\frac{du'}{d\varphi' \cos(\theta' - \varphi')}
$$

Les formules (7) nous donnent aisément, en négligeant λ et ν^4.

$$\frac{du'}{u'd\alpha} = -\frac{\nu\psi'(\alpha)}{1+\nu^2}\left[1+\nu^2\psi'(\alpha) - \frac{\nu\psi'''(\alpha)}{\psi'(\alpha)\psi''(\alpha)}\right]$$

$$\frac{du'}{u'\cos(\theta'-\varphi')d\alpha} = -\psi'(\alpha)\left[1-\frac{\nu^2}{2}+\nu^2\psi'(\alpha) - \frac{\nu\psi'''(\alpha)}{\psi'(\alpha)\psi''(\alpha)}\right]$$

On a d'autre part

$$\frac{d\varphi'}{d\alpha} = \psi'(\alpha),$$

d'où

$$(8) \qquad \frac{\rho'}{u'} = 1 - \frac{\nu\psi'''(\alpha)}{\psi'(\alpha)\psi''(\alpha)} + \nu^2\psi'(\alpha) - \frac{\nu^2}{2}$$

Nous venons de voir que dans le cas où l'une des courbes solidaires est un cercle tournant autour de son centre, on peut toujours exprimer les coordonnées de l'autre courbe de façon que α et α' soient entre eux dans une relation donnée.

Nous avons ainsi établi toutes les formules qui nous paraissent nécessaires pour traiter les cas particuliers qui peuvent se présenter.

On peut donc, au moyen des équations, calculer autant de points que l'on veut. On obtiendra les tangentes au moyen du tracé décrit dans le 4me chapitre du 1er Mémoire; en associant ces deux méthodes, on peut obtenir un résultat très précis.

Le tracé graphique de la courbe peut encore être facilité par l'emploi du rayon de courbure, exprimé dans l'équation (8).

Enfin les développements en séries, exposés dans les équations (7), peuvent, lorsqu'on le désire, fournir un moyen de contrôle du degré d'approximation atteint par la méthode graphique.

En général, le calcul de ces séries pourra se borner à un ou deux termes, ce qui rendra ces formules avantageuses pour la pratique.

Prenons comme exemple le thermographe décrit précédemment; soient P_0 et t_0 deux valeurs initiales de la force élastique et de la température, on aura en général :

$$P = P_0 + r\alpha'$$

$$t = t_0 + \frac{c\alpha}{h}$$

$$\psi(\alpha) = \frac{P - P_0}{r}$$

$$\psi'(\alpha) = \frac{c}{hr}\frac{dP}{dt}$$

$$\psi''(\alpha) = \frac{c^2}{h^2 r}\frac{d^2 P}{dt^2}$$

Nous employons ici les dérivées première et seconde de la force élastique.

Il suffit d'introduire ces expressions dans les équations (7)

Soit :

$$h = 0^m{,}010$$
$$r = 0^m{,}130$$
$$l = 0^m{,}140$$
$$c = 0^m{,}030$$

Au moyen des nombres lus dans la table calculée pour l'acide sulfureux d'après notre formule générale (page 239), nous prenons les valeurs :

$t = -20°$	$P_0 = 0$	$t = +40°$
$P = 0^m{,}481$		$P = 4^m{,}692$
$\frac{dP}{dt} = 0^m{,}02356$		$\frac{dP}{dt} = 0^m{,}13904$
$\frac{d^2P}{dt^2} = 0^m{,}00090$		$\frac{d^2P}{dt^2} = 0^m{,}00313$

Pour ces deux températures, $-20°$ et $+40°$ limites extrêmes du thermographe, on trouve par le calcul :

Pour $t = -20°$		Pour $t = +40°$	
$\psi(\alpha) =$	3,700	$\psi(\alpha) =$	36,092
$\psi'(\alpha) =$	0,544	$\psi'(\alpha) =$	3,210
$\psi''(\alpha) =$	0,065	$\psi''(\alpha) =$	0,216
$\mu =$	$-0{,}180$	$\mu =$	$+0{,}147$
$\lambda =$	0,084	$\lambda =$	0,0014
$\varphi' =$	3,519	$\varphi' =$	36,240
$\nu =$	0,198	$\nu =$	0,021
$\theta' =$	4,885	$\theta' =$	37,790
$u' =$	0,0563	$u' =$	0,00935

On peut réduire θ' en fraction décimale de l'angle droit, en le multipliant par

$$\frac{2}{\pi} = 0{,}6366,$$

ou bien on peut le transformer en degrés ordinaires, si l'on ne veut pas conserver la graduation incommensurable d'arcs de rayon pris pour unité.

Nous obtenons donc pour valeurs extrêmes de θ'

Pour $t = -20^c$:

$$\theta' = 3{,}110 \text{ quadrants},$$

et

Pour $t = +40°$:

$$\theta' = 24{,}057 \text{ quadrants}.$$

Le développement angulaire de la courbe est donc ici d'environ 21 quadrants.

Elle aura par conséquent 5 spires et un quart.

Cet exemple suffit pour montrer comment on peut appliquer les formules à un cas particulier tel que celui du thermographe, où l'on trouve de petites valeurs pour λ, μ, ν.

Nous étudierons dans le chapitre suivant le cas où les quantités α et α' sont en relation différentielle l'une avec l'autre.

Chapitre IV

Application des théories précédentes à l'évaluation des intégrales.

Nous avons vu dans le second chapitre à quelles formules simples on arrive quand on considère le mouvement de deux courbes solidaires fort éloignées reliées par un fil tangent idéal.

Dans le cas où leur distance est infinie, nous avons été conduits à poser l'équation (4)

$$(4)\quad \begin{cases} \varphi = \alpha \\ df = u \sin(\theta - \alpha)\, d\alpha \\ \operatorname{tang}(\theta - \alpha) = -\dfrac{u\, d\theta}{du} \end{cases}$$

pour l'une des courbes,

et pour l'autre

$$(4')\quad \begin{cases} \varphi' = \alpha' \\ \operatorname{tang}(\theta' - \alpha') = -\dfrac{u'\, d\theta'}{du'} \\ df' = df = u' \sin(\theta' - \alpha')\, d\alpha' \end{cases}$$

Il est évident qu'au moyen de ces équations, on peut, si l'on connaît les courbes S et S′, en operant une certaine élimination, obtenir une équation différentielle dont les variables α et α' sont entièrement séparées; de sorte que la loi du mouvement est donnée par l'intégrale :

$$\int_0^{\alpha'} u' \sin(\theta' - \varphi')\, d\alpha' = \int_0^{\alpha} u \sin(\theta - \varphi\, d\alpha$$

ou par

$$\int_0^{\alpha'} \overline{\text{O}'\text{P}'}\, d\alpha' = \int_0^{\alpha} \overline{\text{OP}}\, d\alpha$$

Ainsi prenons pour une des courbes la spirale logarithmique

$$u = e^{-\theta}$$

L'équation (4) nous donne

$$\operatorname{tang}(\theta - \alpha) = 1$$

$$\theta = \alpha + \frac{\pi}{4} + k\pi$$

$$\overline{OP} = e^{-\theta} \sin\left(\frac{\pi}{4} + k\pi\right)$$

$$\overline{OP} = \pm \frac{\sqrt{2}}{2} e^{-\left(\alpha + \frac{\pi}{4} + k\pi\right)}$$

$$f = \int_0^\alpha \overline{OP}\, d\alpha = \pm \frac{e^{-\left(\alpha + \frac{\pi}{4} + k\pi\right)} - e^{-\left(\frac{\pi}{4} + k\pi\right)}}{\sqrt{2}}$$

$$f = \pm \frac{e^{-\left(\frac{\pi}{4} + k\pi\right)}}{\sqrt{2}} \left(e^{-\alpha} - 1\right)$$

k étant un nombre entier quelconque positif ou négatif.

Si $k = o$,

$$f = \frac{e^{-\frac{\pi}{4}}}{\sqrt{2}} \left(1 - e^{-\alpha}\right) = 0{,}32239 \left(e^{-\alpha} - 1\right)$$

Prenons pour l'autre courbe le cercle

$$u' = a \sin \theta'$$

de diamètre a, tangent en O à l'axe des x, on a

$$\operatorname{tang}(\theta' - \alpha') = -\frac{u'\,d\theta'}{du'} = -\operatorname{tang}\theta'$$

$$2\theta' = \pi + \alpha'$$

$$\overline{O'P'} = a\cos^2\frac{1}{2}\alpha' = a\,\frac{1+\cos\alpha'}{2}$$

$$f = \int_0^{\alpha'} \overline{O'P'}\,d\alpha' = \frac{a}{2}(\alpha' + \sin\alpha')$$

Les mouvements angulaires de ces deux courbes seront donc liés par la relation

$$\frac{a}{2}(\alpha' + \sin\alpha') = 0{,}32239\,(e^{-\alpha} - 1)$$

$$\frac{\alpha' + \sin\alpha'}{e^{-\alpha} - 1} = \frac{0{,}64478}{a} = \text{constante.}$$

Au moyen de ce système on pourra toujours trouver des valeurs de α' correspondant à des valeurs données de α et satisfaisant à cette équation ; il suffira de faire tourner la spirale d'angles α et de voir de combien l'autre courbe tourne simultanément.

Cette dernière lecture donne les valeurs de α'.

Il peut arriver que

$$\int \overline{OP}\,d\alpha,$$

$$\int \overline{O'P'}\,d\alpha'$$

ne soient pas intégrables; dans ce cas, un point du fil se meut d'une quantité f égale aux valeurs de ces intégrales; les angles α' correspondent aux angles α. Si l'on met sur le fil un point de repère et que l'on place une échelle graduée, capable d'indiquer le déplacement de ce repère parallèlement à l'axe OO', la lecture à chaque instant de

$$l, \alpha \text{ et de } \alpha',$$

donne aussi bien la solution cinématique de l'équation différentielle à variables séparées

$$F(\alpha)\, d\alpha = F_1(\alpha')\, d\alpha'$$

que des intégrales

$$f = \int_0^{\alpha} F(\alpha)\, d\alpha$$

ou

$$\int_0^{\alpha'} F_1(\alpha')\, d\alpha'$$

Nous avons déjà vu qu'on obtenait $F(\alpha)$, $F_1(\alpha')$ en éliminant u et θ dans les équations (4) et en écrivant

$$F(\alpha) = u \sin(\theta - \alpha)$$

$$F_1(\alpha') = u' \sin(\theta' - \alpha')$$

Il n'est pas toujours possible de faire l'élimination quand on a une courbe donnée et qu'on cherche quelle est la forme de $F(\alpha)$ correspondant à cette courbe, mais

il est intéressant de chercher à calculer la courbe de façon à ce que l'expression F (α) soit une fonction donnée de α.

L'équation (4) donne dans ce cas

$$u \sin(\theta - \alpha) = F(\alpha),$$

d'où

$$\frac{du}{u} = \frac{F'(\alpha)\, d\alpha}{F(\alpha)} - \operatorname{cotg}(\theta - \alpha)(d\theta - d\alpha)$$

$$\frac{du}{u} = -\operatorname{cotg}(\theta - \alpha)\, d\alpha$$

d'où

(9) $$\begin{cases} \operatorname{cotg}(\theta - \alpha) = -\dfrac{F'(\alpha)}{F(\alpha)}, \\ u = \dfrac{F(\alpha)}{\sin(\theta - \alpha)} = \sqrt{[F(\alpha)]^2 + [F'(\alpha)]^2} \end{cases}$$

Ces équations permettent de tracer une courbe telle que le déroulement du fil donne la valeur de

$$f = \int_0^\alpha F(\alpha)\, d\alpha$$

On calcule de même la courbe S' par la formule (9')

(9') $$\begin{cases} \operatorname{cotg}(\theta' - \alpha') = -\dfrac{F_1'(\alpha')}{F_1(\alpha')}, \\ u' = \sqrt{[F_1(\alpha')]^2 + [F_1'(\alpha)]^2} \end{cases}$$

On pourra se servir de ces deux courbes pour résoudre complètement le système

$$f = \int_0^{\alpha} F(\alpha)\, d\alpha = \int_0^{\alpha'} F_1(\alpha')\, d\alpha'$$

ou l'équation différentielle

$$F(\alpha)\, d\alpha = F_1(\alpha')\, d\alpha'$$

par rapport à α, α' et à f.

Dans le calcul des courbes solidaires, au moyen des équations (9) et (9′), on se servira de α et α' comme de paramètres auxiliaires, auxquels on donnera des valeurs prises à volonté et que l'on choisira convenablement.

Dans ce qui va suivre, nous considérerons la quantité f comme servant de point de liaison entre les valeurs de α et α'.

Nous n'emploierons qu'une seule courbe et chercherons à la déterminer de façon que f et α soient liées par une relation différentielle donnée

$$df = F(\alpha)\, d\alpha$$

La courbe sera alors calculée au moyen de l'équation (9).

Il est facile de réaliser un pareil système : il suffit en effet (fig. 8) de fixer la courbe par son point O, de manière que son plan soit vertical.

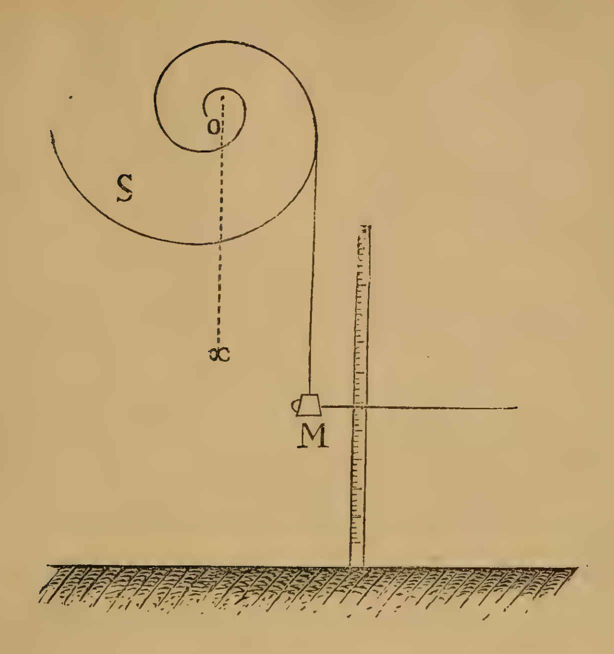


Fig. 8.

Le point de repère M du fil sera muni d'un léger contre-poids et maintenu vertical, *de sorte que les valeurs de f sont données par la hauteur de ce repère au-dessus du sol.*

Dans ce système on peut regarder l'autre courbe comme un point situé à une distance égale au rayon de la terre, puisque toutes les positions du fil convergent vers ce point.

Pour employer convenablement soit l'équation (9), soit le procédé même que nous venons d'exposer, il importe

de placer ici sous forme de propositions quelques résultats qui sont propres à simplifier les calculs.

1° *La forme de l'équation* (9) *est légèrement simplifiée si la fonction* $F(\alpha)$ *est l'exponentielle d'une fonction donnée* $\chi(\alpha)$.

En effet, si

$$F(\alpha) = e^{\chi(\alpha)}$$

l'équation (9) devient

$$(10) \qquad \begin{cases} \cot g(\theta - \alpha) = -\chi'(\alpha) \\ u = e^{\chi\alpha}\sqrt{1 + [\chi'(\alpha)]^2} = \dfrac{e^{\chi(\alpha)}}{\sin(\theta - \alpha)} \end{cases}$$

2° *Si une courbe calculée pour intégrer une fonction*

$$F(\alpha) = \frac{d f}{d \alpha}$$

est suspendue par un autre point que le centre O pour lequel elle a été tracée, le déroulement du fil donnera une quantité différant de l'intégrale de

$$F(\alpha)$$

d'une fonction trigonométrique simple de α.

Soit O_1 (fig. 9) le nouveau centre de rotation et $O_1 x_1$

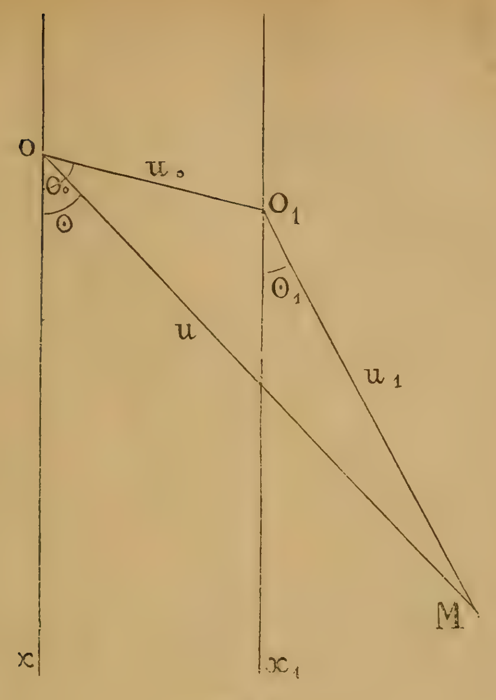


Fig. 9.

le nouvel axe des x.

Soient

u_1, θ_1 les nouvelles coordonnées d'un point M (u, θ), de la courbe

u_0 et θ_0 les coordonnées du point O_1 rapportées à O et O x.

Si f_1 est le déroulement du fil, on a :

$$d f_1 = u_1 \sin(\theta_1 - \alpha)\, d\alpha$$

tandis qu'on avait

$$d f = u \sin(\theta - \alpha)\, d\alpha = F(\alpha)\, d\alpha$$

Mais en projetant horizontalement et verticalement le triangle MOO_1, on a

$$u_1 \cos \theta_1 = u \cos \theta - u_0 \cos \theta_0 ,$$

$$u_1 \sin \theta_1 = u \sin \theta - u_0 \sin \theta_0$$

De sorte que

$$df_1 = [(u \sin \theta - u_0 \sin \theta_0) \cos \alpha - $$
$$- (u \cos \theta - u_0 \cos \theta_0) \sin \alpha] \, d\alpha$$

$$df_1 = df - u_0 \sin (\theta_0 - \alpha) \, d\alpha$$

(11) $f_1 = f - u_0 \cos (\theta_0 - \alpha) + u_0 \cos \theta_0$

Ce résultat permet de calculer à priori le mouvement d'un cercle autour d'un point quelconque de son plan; on a en effet, s'il tourne autour du centre :

$$f = r\alpha$$

r étant son rayon,
de sorte que

$$f_1 = r\alpha - u_0 \cos (\theta_0 - \alpha) + u_0 \cos \theta_0$$

Pour le faire tourner autour d'un point de sa circonférence, nous ferons

$$u_0 = r,$$

$$\theta_0 = \frac{\pi}{2}$$

d'où

$$f_1 = r(\alpha + \sin\alpha)$$

relation déjà connue, pour un cercle tangent en O_1 à l'axe des x, et tournant autour de O_1,

3° *On peut, par approximations successives, en prenant comme point de départ la courbe calculée par la formule* (9) *ou* (10) *et représentée par la figure 8, calculer les points de deux courbes reliées par un fil, situées à une distance finie l et telles que pour toutes les positions, l'équation*

$$F(\alpha)\,d\alpha = F_1(\alpha')\,d\alpha'$$

soit satisfaite.

$F(\alpha)$ et $F_1(\alpha^1)$ sont deux fonctions données quelconques, qui ne sont pas nécessairement intégrables ni résolubles explicitement par rapport à α et α'.

Voici l'exposé de deux méthodes pour arriver à tracer ces courbes.

En premier lieu, on peut se servir directement de l'équation (3) du 2me chapitre, qui nous donne

$$\sin(\varphi - \alpha) = \frac{F(\alpha)}{l}\left(1 - \frac{d\alpha}{d\alpha'}\right),$$

$$\sin(\varphi' - \alpha') = \frac{F_1(\alpha')}{l}\left(\frac{d\alpha'}{d\alpha} - 1\right)$$

D'autre part

$$F(\alpha)\, d\alpha = F_1(\alpha')\, d(\alpha'), \text{ donc}$$

$$(12) \qquad \sin(\varphi - \alpha) = \sin(\varphi' - \alpha') = \frac{F(\alpha) - F_1(\alpha')}{l},$$

$$\overline{OP} = F(\alpha),$$

$$\overline{O'P'} = F_1(\alpha')$$

On peut ici considérer α comme un paramètre auxiliaire; au moyen de deux courbes tracées pour l infini et placées à une grande distance, on obtient des valeurs de α' correspondant très approximativement avec diverses valeurs de α; ce seront ces valeurs qu'il faudra substituer dans l'équation (12) pour obtenir des valeurs de φ et φ' approchées.

Des équations (12) et (3) on déduit aisément

$$(13) \quad \left\{ \begin{aligned} &\frac{d\varphi}{d\alpha} = 1 + \frac{F(\alpha)}{l\cos(\varphi - \alpha)} \left\{ \frac{F'(\alpha)}{F(\alpha)} - \frac{F_1'(\alpha')}{F_1(\alpha')} \right\}, \\ &\frac{d\varphi'}{d\alpha'} = 1 + \frac{F(\alpha)}{l\cos(\varphi' - \alpha')} \left\{ \frac{F'(\alpha)}{F(\alpha)} - \frac{F_1'(\alpha')}{F_1(\alpha')} \right\} \\ &\cot(\theta - \varphi) = -\frac{F'(\alpha)}{F(\alpha)} \frac{d\alpha}{d\varphi}, \\ &\operatorname{cotg}(\theta' - \varphi') = -\frac{F_1'(\alpha')}{F_1(\alpha')} \frac{d\alpha'}{d\varphi'} \\ &u = \frac{F(\alpha)}{\sin(\theta - \varphi)}, \\ &u' = \frac{F_1(\alpha')}{\sin(\theta' - \varphi')} \end{aligned} \right.$$

On obtient ainsi les coordonnées de tous les points des deux courbes; on les tracera ainsi très exactement par approximations successives, puisqu'on possède ici des valeurs plus approchées de α'.

La seconde méthode n'est autre qu'une modification du procédé graphique de la figure 5.

Puisque par une des méthodes précédentes on peut toujours obtenir des valeurs α'_0, α'_1, α'_2, approchées de α' correspondant à des valeurs α_0, α_1, α_2, données de α, rien n'empêche de calculer des valeurs approchées correspondantes de F (α), F_1 (α').

Choisissant 2 points O, O′ (fig. 10), on portera à partir

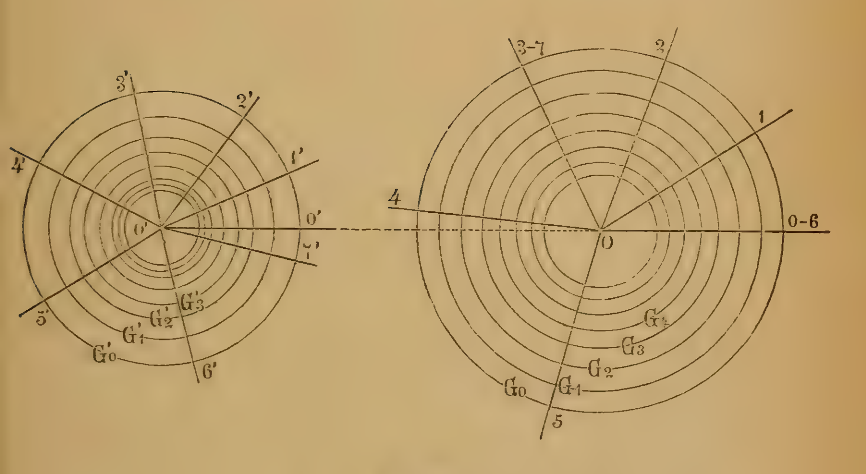


Fig. 10.

de OO′ des angles α_0, α_1, α_2.... avec O comme centre; α'_0, α'_1, α'_2,.. avec O′ comme centre.

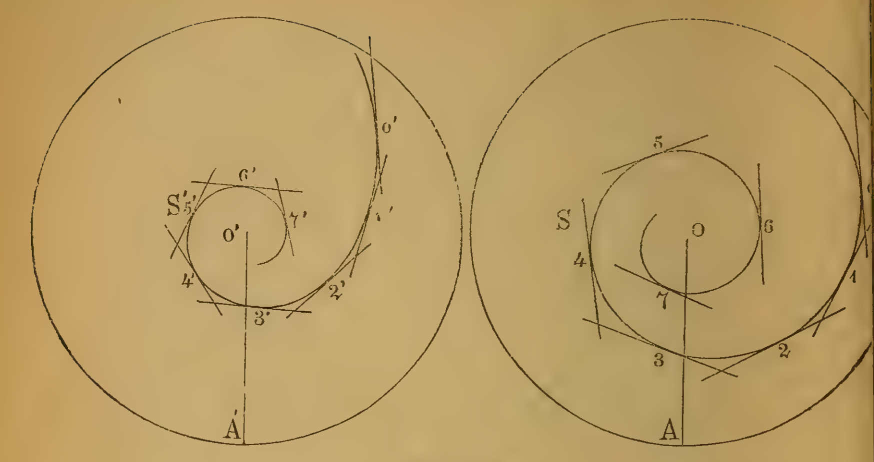


Fig. 10 *bis*.

Puis on tracera des cercles G_0, G_1,.. de rayons $F(\alpha_0)$, $F(\alpha_1)$,.... avec O comme centre, et des cercles G'_0, G'_1... de rayons $F_1(\alpha'_0)$, $F_1(\alpha'_1)$... axec O′ comme centre.

On fera tourner simultanément deux cercles mobiles autour de O et O′, de façon que deux rayons $\overline{OA}$, $\overline{O'A'}$ (fig. 10 bis) de ces cercles mobiles coïncident successivement et simultanément avec les rayons des secteurs O o et $O'o'$, O1 et $O'1'$..... Menant dans chaque position des tangentes communes à G_0 et $G'_{0'}$, G_1 et G'_1...... on obtiendra par tangentes le tracé des courbes S et S′.

Après avoir indiqué ces deux méthodes pour déterminer au moyen de courbes approchées des courbes plus exactes, nous pouvons tenir notre troisième point comme démontré.

Nous terminerons ce chapitre en indiquant dans les figures 11 et 12 deux dispositions auxquelles on peut ap-

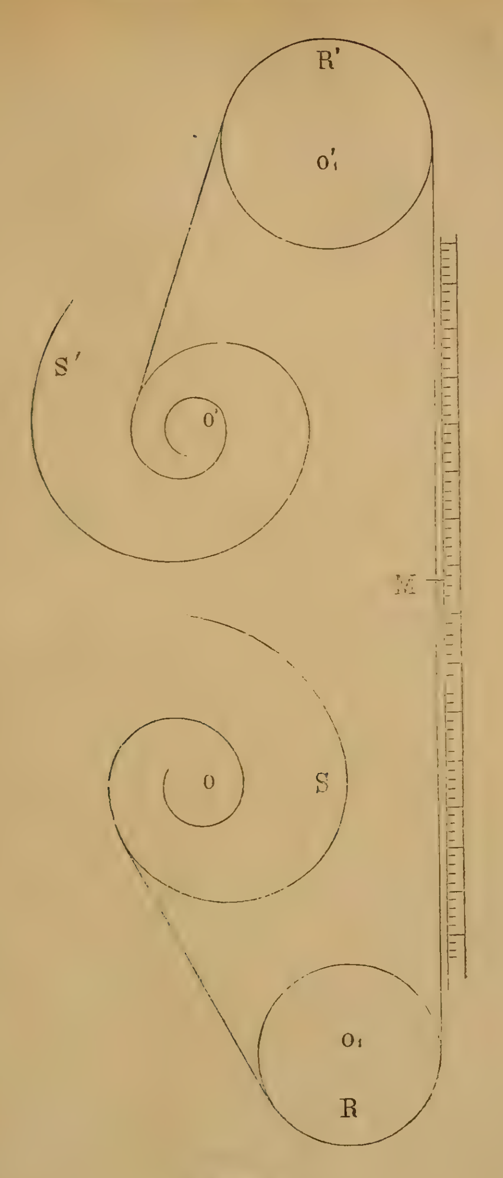


Fig. 11.

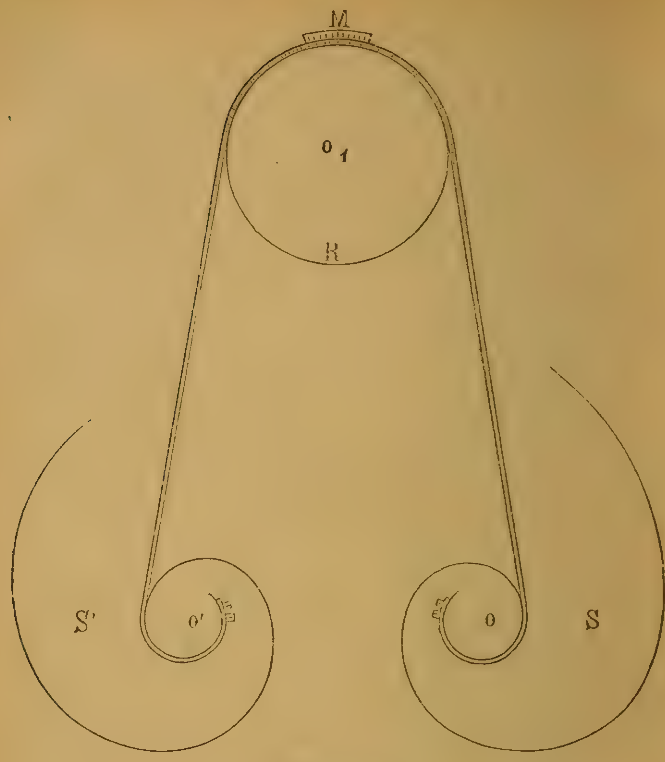


Fig. 12.

pliquer directement le tracé de la figure 5 et qui donnent les 3 valeurs correspondantes de f, α et α'.

Dans la figure 11, le fil arrive de S en S' après avoir passé sur deux cercles R et R'; les angles de rotation de S et S' satisfont à la relation différentielle pour laquelle elles ont été déterminées, tandis que l'intégrale de cette fonction différentielle est donnée par le déplacement rectiligne de l'index M placé entre les deux cercles.

Dans la disposition de la figure 12, l'un des cercles est supprimé et on remplace le fil par un ruban métalli-

que gradué; au sommet M du cercle R se trouve un vernier fixe et la longueur du ruban qui passe au point M mesure l'intégrale *f*.

Nous avons indiqué ces dispositions, afin de montrer que l'on peut réaliser complètement le système traité dans ce chapitre; mais il est évident qu'on pourrait les varier à l'infini.

CHAPITRE V

Applications de la Méthode générale précédente à diverses fonctions numériques.

Nous nous proposons dans ce chapitre de donner quelques exemples complets et détaillés de l'emploi des formules et équations trouvées par l'analyse mathématique appliquée à l'étude des *courbes solidaires*.

Nous désirons obtenir quelques vérifications numériques suffisamment précises pour que l'usage de cette méthode générale puisse rendre des services en pratique et faciliter la résolution de quelques questions complexes de cinématique et de mécanique rationnelle.

Nous utiliserons ici directement les formules des pages précédentes.

Nous indiquerons également au moyen d'un exemple l'emploi d'un tracé graphique qui donne les intégrales sans avoir à considérer le mouvement des courbes. Ce tracé ne répond du reste qu'à un cas particulier de la méthode générale que nous allons décrire.

Cette méthode consiste à faire tourner dans un plan vertical une courbe, dont le calcul a été donné *in extenso* précédemment, et à déterminer pour chaque angle de rotation φ de la courbe le *déplacement vertical d'un point de repère marqué sur un fil à plomb qui se déroule ou s'enroule sur la courbe mobile.*

Le tracé graphique supprime le mouvement de la courbe ainsi que le fil lui-même: On remplace les indications cathétométriques de la méthode générale par une construction géométrique assez simple, et par une lecture linéaire effectuée sur l'épure. Ces deux procédés sont destinés, non seulement à donner les intégrales que le planimètre pourrait difficilement fournir, mais encore à exprimer sous une forme continue et mécanique les variations des valeurs numériques de la fonction, lorsque l'angle φ *passe d'une limite inférieure à une limite supérieure quelconque.*

Dans chacun des exemples que nous envisagerons, nous avons commencé par tracer avec le plus grand soin la courbe représentée par la figure 8.

On se sert pour cela d'une des méthodes indiquées précédemment en cherchant dans chaque cas celle qui convient le mieux.

Nous reportons cette courbe sur un morceau de fort carton, bien homogène et aussi raide que possible.

On découpe exactement la courbe sur le trait de crayon de façon à la dégager de la plaque sur laquelle on l'a tracée.

C'est sur le dos de la courbe, c'est-à-dire sur l'épaisseur du carton que s'enroule ou se déroule le fil à plomb muni de son index.

Comme l'épaisseur du carton est très-faible, à peine

$^1/_2$ millimètre, le fil se dégagerait constamment de cette surface si restreinte sur laquelle on l'enroule. Pour obvier à cet accident on colle sur les deux faces du carton du côté de la courbe, deux bords de papier fort qui laissent entre eux une petite gorge ayant 1 millimètre de profondeur.

Le fond de cette gorge est la courbe du carton, les joues servent uniquement à maintenir le fil à sa place.

On peut remplacer, si l'on veut, cette construction par le procédé suivant :

On découpe la courbe sur du carton fort et on l'emprisonne entre deux lames de verre percées toutes deux au centre de rotation.

Le fil alors est maintenu sur le dos de la courbe, tandis que la transparence du verre permet de voir comment le fil se comporte en chaque point de la courbe pendant le mouvement et les observations.

Le fil s'attache à la courbe vers un point extrême, on l'enroule sur la courbe et on suspend à sa partie inférieure un petit vernier muni d'un contre-poids assez léger (Voir planches II, III, IV, VI).

Pour pouvoir lire à chaque instant la valeur des angles de rotation φ, nous avons tracé un cadran divisé sur le plan vertical dans lequel se meut la courbe.

Le centre de ce cadran O coïncide avec le centre de rotation de la courbe.

Un vernier placé sur la courbe de carton permet de mesurer les déplacements angulaires avec toute l'exactitude désirable.

On peut ainsi mesurer l'angle φ en degrés, minutes et secondes.

On marque le zéro au cadran, lorsque la courbe mobile se trouve dans sa position initiale.

Cette position est tracée d'avance par un trait lorsque la courbe se construit.

Pour lire les déplacements verticaux de l'index fixé au fil qui se déroule sur la courbe, on peut se servir d'un cathétomètre, dont la lunette mobile tourne dans un plan horizontal.

Dans chaque position de l'index, la lecture sur la graduation verticale indiquera la valeur du niveau de cet index.

L'écart numérique, correspondant à deux observations, sera la valeur de l'intégrale entre les limites φ_0 et φ qui sont les angles de rotation de la courbe mobile.

Cette méthode de mesurer les déplacements de l'index est très exacte et donne facilement le vingtième de millimètre, seulement elle est un peu compliquée lorsqu'une grande précision n'est pas nécessaire.

On peut remplacer le cathétomètre et ses indications par une simple lecture directe faite sur un système de droites horizontales équidistantes.

On trace ces lignes parallèles sur une feuille de papier placée dans le même plan que la courbe mobile (Voir les planches II, III, IV, VI).

Les lignes sont fines, distantes d'un millimètre, et les graduations se lisent en marge, ce qui simplifie les observations.

L'index suspendu au fil de la courbe se compose d'un vernier au dixième de millimètre qui est maintenu appliqué contre les droites parallèles par l'action permanente d'un léger contre-poids.

Comme le plan est vertical, le frottement de ce vernier mobile contre la surface est insignifiant. Il ne saurait introduire aucune erreur sensible dans la lecture des niveaux successifs qu'occupera le zéro du vernier.

Quant à la *valeur intrinsèque* de l'unité millimétrique entrant comme expression de l'*intégrale cherchée*, elle correspond au paramètre qui a servi à la construction de la courbe mobile et toute erreur dans l'homogénéité des signes est facile à prévenir.

Ainsi, soit au moyen du cadran fixe et du vernier de la courbe, soit au moyen des lignes parallèles et de l'index du fil, on connaît avec précision l'angle φ et l'intégrale :

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi} F(\varphi)\, d\varphi = H \text{ Hauteur cathétométrique.}$$

Dans cette équation, φ_0 correspond à la position initiale et φ à la position quelconque.

H est la hauteur cathétométrique mesurée, soit directement avec l'instrument, soit au moyen des droites parallèles.

Telle est, d'une manière sommaire, la méthode pratique que nous avons employée pour déterminer certaines intégrales que le calcul se refuse à fournir et que l'on ne connaît qu'imparfaitement et d'une façon discontinue par la formule de Simpson.

Avant de passer à quelques problèmes numériques dans lesquels nous mettrons à exécution les méthodes décrites, nous appuierons sur les *causes d'erreur* que l'on doit avoir soin d'écarter autant que possible.

Nous pouvons grouper ces causes d'erreur sous les chefs suivants :

Erreurs dans le tracé de la courbe;

Erreurs dans le découpage du carton ou du métal;

Erreurs dans la graduation, soit du cadran, soit de la courbe;

Erreurs provenant d'excentricité par suite de l'agrandissement des trous du centre, ou du défaut de verticalité de la courbe;

Erreurs dues aux flexions du limbe de la courbe;

Erreurs par suite de l'extensibilité et de l'épaisseur du fil;

Erreurs de lecture.

Il est facile d'éviter toutes ces erreurs ou du moins d'amener leur influence à un minimum si petit que les chiffres obtenus sont presque rigoureusement exacts.

Le tracé de la courbe peut se faire avec des traits fins et les points se calculent assez près pour que la limite d'erreur soit l'épaisseur du trait de crayon.

Pour le découpage, les précautions sont assez nombreuses et varient suivant la nature de la plaque. Dans certains cas la lime douce peut rendre de grands services.

Nous nous sommes servis de ciseaux fins, en nous astreignant à couper la courbe autant que possible dans l'axe du trait.

Pour les graduations, soit du cadran fixe, soit des verniers, on doit se servir du rapporteur, ou mieux encore d'une machine à diviser.

Les lignes parallèles horizontales peuvent être prises sur du papier quadrillé au millimètre, ou tracées également par la machine.

La flexion du limbe de la courbe peut être empêchée par le collage de quelques nervures, faisant relief sur le plan de la courbe. On les applique sur la face opposée à celle qui frotte sur le cadran.

Si la courbe est en métal ces flexions ne sont point à craindre.

Du reste en emprisonnant la courbe entre deux plaques de verre on supprime toute chance de flexion.

Le fil à plomb et le niveau permettent de vérifier la bonne orientation du système en place avant les observations.

On peut amincir les bords des verniers de telle sorte que l'on donne aux lectures des valeurs précises, indépendantes de l'obliquité du rayon visuel de l'observateur.

Il est facile de tenir compte de l'épaisseur du fil, car il suffit d'ajouter sa demi-épaisseur à la valeur de $\overline{OP}$, perpendiculaire abaissée du centre de rotation sur la tangente (fig. 6).

On peut en effet sans grande erreur considérer l'axe central du fil comme sa *ligne neutre.*

Enfin pour éviter les écarts de lecture qui proviendraient de l'extensibilité du fil, on le charge d'un petit poids constant, invariable pendant toutes les lectures.

Dans le procédé graphique que nous exposerons pour un exemple, une bonne partie de ces causes d'erreurs sont supprimées de fait, puisque le fil et le mouvement de la courbe sont remplacés par une épure au trait.

Cependant la contre-partie de ces avantages est grave, puisque l'intégrale lue ne correspond plus qu'à des limites fixes et définies, au lieu d'être quelconques comme dans le cas général.

Dans les exemples numériques développés ici, nous avons calculé des tables au moyen des lectures faites directement sur les verniers.

Nous avons donné à φ différentes valeurs équidistantes et mis en regard dans les tableaux les valeurs correspondantes de l'intégrale.

Dans une colonne voisine nous avons inscrit les mêmes valeurs de l'intégrale telles que le calcul intégral les donne :

Une troisième colonne comprend les écarts absolus, qui

résultent de la différence des nombres fournis par le calcul avec ceux de l'expérience.

La dernière colonne contient les erreurs relatives.

PREMIER EXEMPLE

Ellipse.

Nous allons appliquer tout ce qui précède à l'ellipse en donnant à dessein tous les intermédiaires du calcul pour que ce premier exemple nous serve dans les exercices suivants :

Prenons l'équation de l'ellipse rapportée à son centre :

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \tag{1}$$

Différentiant cette équation pour obtenir l'angle de la tangente avec l'axe des x, soit l'angle φ, nous avons

$$\text{tang.}\,\varphi = \frac{dy}{dx} = -\frac{b^2 x}{a^2 y} \tag{2}$$

Cet angle φ est égal à l'angle de rotation de la courbe, puisque l'axe des x se déplace par rapport à la tangente de cet angle de rotation.

On tire de l'équation (2)

$$\frac{y}{x} = -\frac{b^2}{a^2}\,\text{cotg.}\,\varphi \tag{3}$$

Nous joignons l'équation (3) à l'équation (1) et nous en déduisons aisément :

$$(4) \quad \left\{ \begin{aligned} x &= \frac{a^2}{\sqrt{a^2 + b^2 \operatorname{cotg.}^2 \varphi}} \\ y &= \frac{-b^2 \operatorname{cotg.} \varphi}{\sqrt{a^2 + b^2 \operatorname{cotg.}^2 \varphi}} \end{aligned} \right.$$

Nous avons vu dans le chapitre II, formule (3) que la valeur de O P est toujours donnée par l'expression :

$$\overline{\mathrm{O\,P}} = y \cos \varphi - x \sin \varphi$$

Ici on a comme conséquence des équations (4) :

$$\overline{\mathrm{O\,P}} = \sqrt{a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi}$$

Posant pour la valeur de l'excentricité de l'ellipse la relation (5)

$$(5) \quad \frac{a^2 - b^2}{a^2} = e^2$$

Nous en déduisons pour O P la formule (6)

$$(6) \quad \overline{\mathrm{O\,P}} = a \sqrt{1 - e^2 \cos \varphi^2}$$

Si, dans l'équation générale du chapitre II, nous faisons la longueur l infinie nous en déduisons :

$$\alpha = \varphi$$

et de plus (7)

$$(7) \qquad \int_0^\varphi \overline{\mathrm{OP}}\, d\varphi = f = a\int_0^\varphi \sqrt{1-e^2\cos^2\varphi}\; d\varphi$$

Cette intégrale représente une *fonction elliptique* de la 2ᵉ espèce.

Par conséquent le mouvement vertical de l'index du fil donnera la valeur numérique d'une *intégrale elliptique de deuxième espèce en prenant a pour unité.*

Nous avons l'identité suivante (8)

$$(8) \qquad \int_0^\varphi \sqrt{1-e^2\cos^2\varphi}\; d\varphi = \int_{\frac{\pi}{2}-\psi}^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1-e^2\sin^2\psi}\; d\psi$$

en posant :

$$(9) \qquad \varphi = \frac{\pi}{2} - \psi$$

Cette seconde intégrale est ainsi ramenée à la forme classique de l'intégrale de deuxième espèce.

Posons :

$$(10) \qquad \int_0^\psi \sqrt{1-e^2\sin^2\psi}\; d\psi = \mathrm{E}(\psi)$$

nous en tirons :

$$(11) \qquad f = \mathrm{E}\left(\frac{\pi}{2}\right) - \mathrm{E}\left(\frac{\pi}{2}-\varphi\right)$$

La formule (8) nous servira au calcul numérique d'un exemple particulier.

Prenons comme bases numériques :

$$a = 100 \text{ millimètres.}$$
$$e = \sin 45°.$$

Cette ellipse est représentée en grandeur d'exécution à la planche II.

Son grand axe est A C.

Son petit axe B D.

Sur le pourtour de l'ellipse nous avons exécuté le cartonnage indiqué précédemment de manière à obliger le fil à s'enrouler sur le dos de la courbe.

Dans la position initiale on a

$$\varphi = 0$$

L'axe A C, soit l'axe des x, est vertical.

Le réseau de lignes horizontales placé au-dessous de l'ellipse est tracé sur une feuille de papier fixée ou collée contre le plan vertical qui porte la graduation du cadran. On donne au fil une longueur initiale telle que pour :

$$\varphi = 0$$

l'index M soit au zéro de l'échelle cathétométrique.

Le vernier de l'index M permet d'obtenir cette position initiale avec toute l'exactitude désirable.

Dans la planche II la position initiale de l'ellipse est représentée par un tracé pointillé.

On peut voir que le zéro du cadran correspond au zéro

du vernier de la courbe, et que le zéro de l'échelle verticale touche le zéro du vernier de l'index M.

Nous faisons tourner la courbe d'un angle φ quelconque.

Supposons que cet angle soit positif dans la rotation de gauche à droite (analogue à celle des aiguilles d'une montre), pour toute valeur de l'angle φ nous lirons la dénivellation de l'index M.

Dans la planche II nous avons représenté en traits pleins la seconde position de l'ellipse, position qui correspond à un angle de :

$$\varphi = 40°$$

C'est-à-dire que l'axe des x s'est déplacé peu à peu, et que sa nouvelle position fait un angle de 40° avec la position initiale.

Nous lisons alors sur la graduation verticale la valeur de la dénivellation de l'index M correspondant à cet angle φ.

Le vernier nous permet de lire :

Dénivellation = 52,8 millimètres.

La planche II n'est dans ce cas que la reproduction identique d'une construction qui existe dans notre laboratoire, au moyen de laquelle nous avons obtenu directement les chiffres du tableau de l'ellipse.

L'unité ayant été arbitrairement choisie est représentée par :

$$a = 100 \text{ millimètres}$$

nous en déduisons pour l'intégrale elliptique donnée la valeur numérique :

$$(12) \qquad \int_0^{40} \sqrt{1 - e^2 \cos^2 \varphi}\; d\varphi = 0{,}528$$

L'excentricité de cette ellipse étant égale à

$$e = \sin 45° = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

cette intégrale doit s'écrire :

$$(13) \quad \int_0^{40°} \sqrt{1 - e^2 \cos^2 \varphi}\; d\varphi = \int_0^{40°} \sqrt{1 - \frac{\cos^2 \varphi}{2}}\; d\varphi$$

Ainsi nous arrivons à la forme cherchée :

$$(14) \qquad \int_0^{40°} \sqrt{1 - \frac{\cos^2 \varphi}{2}}\; d\varphi = 0{,}528$$

Maintenant, si nous comparons ce résultat numérique obtenu avec notre méthode au résultat fourni par l'application des formules transcendantes relatives au calcul des fonctions elliptiques de la deuxième espèce, nous tombons sur une coïncidence absolue.

M. Bertrand, dans le 2[e] volume de son *Traité de Calcul différentiel et intégral,* donne une table des valeurs des intégrales E (φ) d'où nous avons déduit l'expression :

$$\mathrm{E}\left(\frac{\pi}{2}\right) - \mathrm{E}\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)$$

pour toutes les valeurs de φ de cinq en cinq degrés.

Ces tables de M. Bertrand sont établies pour éviter aux mathématiciens de longs et laborieux calculs qui absorbent bien des heures de recherches avant de donner la valeur numérique de la fonction.

Si nous lisons dans ces tables les valeurs correspondant à :

$$\psi = \frac{\pi}{2}$$

$$\psi = \frac{\pi}{2} - 40$$

nous trouvons pour l'intégrale :

$$E\left(\frac{\pi}{2}\right) - E\left(\frac{\pi}{2} - 40^\circ\right) = 0{,}5289$$

Il y a presque identité entre les résultats fournis par les deux méthodes.

Cette première vérification suffit *pour prouver que la théorie de l'intégration continue d'une fonction numérique quelconque par l'emploi des courbes solidaires peut être considérée comme absolument exacte et qu'elle repose sur une propriété générale sans aucune exception.*

Nous avons fait des lectures directes, soit de l'angle φ, soit des valeurs cathétométriques de l'index M pour une foule de positions prises arbitrairement dans les quatre quadrants de l'ellipse.

Partout les coïncidences entre le calcul et l'observation sont aussi complètes que le comporte la rusticité des instruments dont nous nous sommes servis.

La plus grande erreur observée est de 2 dixièmes de millimètre.

Pour dresser le tableau suivant, nous avons donné à φ des valeurs successives variant de 5 en 5 degrés.

Nous avons fait les observations dans les 4 quadrants successivement avec la même valeur de φ.

Les intégrales trouvées sont placées sur la même ligne.

La cinquième colonne du tableau contient la moyenne arithmétique des 4 observations.

La sixième colonne renferme les valeurs calculées par les tables de l'ouvrage de M. Bertrand.

La septième colonne enregistre les écarts absolus, soit les différences en fraction de millimètre.

La huitième colonne contient les erreurs relatives, c'est-à-dire le degré d'approximation fourni par la méthode d'intégration que nous avons développée dans ce mémoire.

Valeurs de $\int_0^\varphi \sqrt{1-e^2\cos^2\varphi}\, d\varphi$

φ	Valeurs mesurées				Moyenne des valeurs mesurées	Valeurs calculées	Écarts absolus	Erreurs relatives
	1er quadrant	2me quadr.	3me quadr.	4me quadr.				
0°	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0000	0,0000	—	—
5°	0,062	0,064	0,062	0,059	0,0617	0,0617	0,0000	0,0000
10°	0,126	0,126	0,129	0,118	0,1247	0,1240	0,0007	0,0056
15°	0,191	0,190	0,188	0,187	0,1890	0,1871	0,0019	0,0102
20°	0,253	0,250	0,254	0,253	0,2525	0,2516	0,0009	0,0034
25°	0,320	0,321	0,319	0,318	0,3195	0,3177	0,0018	0,0057
30°	0,387	0,387	0,388	0,387	0,3873	0,3856	0,0017	0,0044
35°	0,458	0,458	0,456	0,457	0,4572	0,4557	0,0015	0,0033
40°	0,529	0,535	0,528	0,527	0,5298	0,5279	0,0019	0,0036
45°	0,605	0,604	0,604	0,602	0,6037	0,6024	0,0013	0,0022
50°	0,680	0,681	0,680	0,682	0,6808	0,6791	0,0017	0,0025
55°	0,755	0,763	0,760	0,759	0,7592	0,7578	0,0014	0,0018
60°	0,840	0,841	0,843	0,839	0,8407	0,8385	0,0022	0,0026
65°	0,917	0,930	0,926	0,916	0,9222	0,9210	0,0012	0,0013
70°	1,005	1,011	1,011	1,000	1,0068	1,0050	0,0018	0,0018
75°	1,090	1,095	1,097	1,087	1,0923	1,0903	0,0020	0,0018
80°	1,171	1,186	1,186	1,172	1,1787	1,1765	0,0022	0,0019
85°	1,260	1,270	1,266	1,262	1,2645	1,2634	0,0011	0,0009
90°	1,352	1,355	1,356	1,348	1,3527	1,3506	0,0021	0,0015

Moyenne des écarts : 0,001522.

Nous voyons par ce tableau complet que les valeurs données par les lectures numériques s'accordent sensiblement avec les résultats du calcul poussé jusque dans ses dernières limites de précision.

L'écart moyen de toutes les observations n'est que de 0,15 millimètre.

Nous allons donner quelques autres applications de cette méthode d'intégration sans cependant nous étendre aussi longuement sur les calculs intermédiaires.

LE CERCLE

Prenons comme second exemple le cercle donné par l'équation

$$u = a \sin \theta$$

tangent en O à l'axe des x.

Nous avons vu dans le chapitre précédent qu'un pareil cercle déroule, en tournant autour de O, un fil dont la longueur est

$$f = \frac{a}{2}(\varphi + \sin \varphi) \tag{15}$$

φ étant l'angle de rotation et

$$\frac{a}{2}$$

le rayon du cercle.

Nous avons tracé (Pl. III) un cercle de 200^{mm} de diamètre, qui est en S dans sa portion initiale correspondant à

$$\varphi = 0°,$$

tandis que dans la position S′ tracée en pointillé

$$\varphi = 10°.$$

A ces deux positions de la courbe correspondent deux positions de l'index, à savoir :

$$M \text{ et } M'$$

En M, le zéro du vernier de l'index est sur la ligne zéro du réseau des droites parallèles.

En M′, il marque

$$f = 34^{mm},8$$

D'après la formule (15), on pourra indiquer par le mouvement continu du fil, la variation continue de la fonction.

$$\varphi + \sin\varphi = \frac{f}{100^{mm}}$$

Au moyen de ce cercle, nous avons relevé quelques chiffres donnés par l'index, pour des valeurs de φ prises de 10° en 10 degrés, depuis

$$\varphi = 0$$

jusqu'à

$$\varphi = 180°$$

Calculant pour les mêmes angles les valeurs de

$$\text{arc}\ \varphi + \sin\varphi$$

nous avons pu mettre en parallèle dans le tableau suivant, les résultats calculés avec ceux obtenus directement avec notre courbe

Valeurs de $\varphi + \sin\varphi$

(Cercle mobile)

φ	**Valeur** mesurée	**Valeur** calculée	**Écarts** absolus	**Erreurs** relatives
0°	0,000	0,000	—	—
10°	0,348	0,348	0,000	0,0000
20°	0,691	0,691	0,000	0,0000
30°	1,021	1,024	0,003	0,0029
40°	1,337	1,341	0,004	0,0030
50°	1,636	1,639	0,003	0,0018
60°	1,905	1,913	0,008	0,0042
70°	2,156	2,161	0,005	0,0023
80°	2,377	2,381	0,004	0,0017
90°	2,570	2,571	0,001	0,0004
100°	2,728	2,730	0,002	0,0007
110°	2,856	2,860	0,004	0,0014
120°	2,960	2,960	0,000	0,0000
130°	3,034	3,035	0,001	0,0003
140°	3,088	3,086	0,002	0,0006
150°	3,121	3,118	0,003	0,0010
160°	3,137	3,134	0,003	0,0010
170°	3,146	3,141	0,005	0,0016
180°	3,148	3,142	0,006	0,0019
		Moyenne des écarts 0,0030		

Nous voyons dans ce tableau que les nombres mesurés ont à peu près deux décimales exactes.

L'écart va jusqu'à $0^{mm},8$ et la moyenne des écarts est de $0^{mm},30$.

Application au cercle du tracé graphique

Dans le commencement de ce chapitre nous avons parlé d'un tracé graphique pouvant au besoin remplacer l'emploi des courbes mobiles.

Comme exemple de cette application, nous avons évalué les valeurs de la fonction

$$\varphi + \sin \varphi$$

Pour cela nous avons tracé un cercle S (pl. V), dont le diamètre est

$$\overline{OP}_0 = 200 \text{ millimètres.}$$

Par O, nous avons mené, de 10° en 10° des lignes

$$\overline{OP}_{10}\ ,\ \overline{OP}_{20}\ ,\ \overline{OP}_{30}\ ,\ \ldots\ldots\ \overline{OP}_{170}$$

et, perpendiculairement à ces lignes, des tangentes à la courbe S.

Dans ce tracé, le point initial est évidemment P_0 et les angles φ sont respectivement

$$\widehat{P_{10}OP_0}\ ,\ \widehat{P_{20}OP_0}\ ,\ \text{etc.}$$

C'est donc à partir de P_0 que nous avons gradué la circonférence du cercle S, ainsi que les différentes tangentes.

Sur la pl. V, une seule de ces dernières est indiquée

comme graduée; et par le fait, on peut mesurer par un moyen quelconque la longueur des tangentes rectilignes.

On peut lire sur cette tangente, au point de rencontre avec $O P_{50}$, le nombre

$$f = 164^{mm},6$$

qui, rapporté à l'unité de 100^{mm}, donne pour la valeur de la fonction

$$1,646 = \text{arc } 50^\circ + \sin 50^\circ$$

Au moyen du tracé représenté par la pl. V nous avons obtenu les résultats suivants:

Valeurs de $\varphi + \sin \varphi$

(Méthode graphique)

φ	**Valeurs** mesurées	**Valeurs** calculées	**Écarts** absolus	**Erreurs** relatives
0°	0,0000	0,0000	—	—
10°	0,3448	0,3481	0,0043	0,0124
20°	0,6903	0,6911	0,0008	0,0012
30°	1,0211	1,0235	0,0025	0,0024
40°	1,3412	1,3409	0,0003	0,0002
50°	1,6456	1,6387	0,0069	0,0042
60°	1,9158	1,9132	0,0026	0,0013
70°	2,1639	2,1614	0,0025	0,0012
80°	2,3869	2,3811	0,0058	0,0024
90°	2,5761	2,5708	0,0053	0,0021
100°	2,7342	2,7301	0,0041	0,0015
110°	2,8614	2,8596	0,0018	0,0006
120°	2,9624	2,9604	0,0020	0,0007
130°	3,0350	3,0349	0,0001	0,0000
140°	3,0879	3,0863	0,0016	0,0005
150°	3,1171	3,1180	0,0009	0,0003
160°	3,1330	3,1345	0,0015	0,0005
170°	3,1387	3,1406	0,0020	0,0006
180°	3,1414	3,1416	0,0002	0,0001

Moyenne des écarts 0,00251

Dans cet exemple, la moyenne des écarts numériques est un peu moindre que précédemment ; elle n'est plus que d'un quart de millimètre.

Courbe logarithmique.

Comme troisième exemple, nous avons cherché à obtenir l'intégrale

$$f=\int\frac{d\varphi}{\varphi}$$

au moyen d'une courbe tournant autour de O et développant un fil vertical.

Pour tracer la courbe, nous avons calculé ses rayons vecteurs pour divers angles, cela au moyen des formules du chapitre IV, que nous rappelons ici en substituant φ à α

$$\operatorname{cotg}(\theta-\varphi)=\mathrm{F}(\varphi)$$

$$u=\frac{\mathrm{F}(\varphi)}{\sin(\theta-\varphi)}=\sqrt{[\mathrm{F}(\varphi)]^2+[\mathrm{F}'(\varphi)]^2}$$

Substituant ici

$$\mathrm{F}(\varphi)=\frac{1}{\varphi}$$

on a

(16) $$\operatorname{tang}(\theta-\varphi)=\varphi$$

(17) $$u=\frac{\sqrt{1+\varphi^2}}{\varphi^2}$$

Nous avons, au moyen de ces formules calculé le tableau suivant:

Coordonnées de la courbe logarithmique.

φ	$\theta - \varphi$	θ	u
0,7	0,3888	0,835	2,491
0,8	0,4296	0,939	2,002
0,9	0,4665	1,039	1,661
1,0	0,5000	1,137	1,414
1,1	0,5303	1,231	1,229
1,2	0,5577	1,323	1,085
1,3	0,5825	1,411	0,973
1,4	0,6052	1,497	0,879
1,5	0,6257	1,581	0,803
1,6	0,6444	1,663	0,738
1,7	0,6615	1,744	0,682
1,8	0,6772	1,824	0,634
1,9	0,6916	1,902	0,595
2,0	0,7049	1,979	0,559
2,2	0,7284	2,128	0,500
2,4	0,7487	2,276	0,452
2,6	0,7663	2,422	0,413
2,8	0,7816	2,564	0,379
3,0	0,7952	2,705	0,351
3,5	0,8228	3,051	0,297
4,0	0,8440	3,390	0,258
4,5	0,8608	3,725	0,228
5,0	0,8743	4,057	0,204
6,0	0,8949	4,715	0,169
7,0	0,9097	5,366	0,145
8,0	0,9208	6,014	0,126
9,0	0,9294	6,658	0,112
10,0	0,9365	7,302	0,100

Dans la première colonne de ce tableau se trouvent inscrits comme arguments les valeurs des arcs φ quand le rayon est l'unité.

Les chiffres de la deuxième colonne s'obtiennent au moyen de la formule (16)

$$\operatorname{tang}(\theta - \varphi) = \varphi$$

Pour le calcul de ces valeurs, nous avons fait usage des nombres de la première colonne et des tables de Callet, qui donnent directement les tangentes naturelles des diverses parties décimales de l'angle droit.

Les chiffres inscrits dans la seconde colonne représentent donc des parties décimales de l'angle droit.

Les nombres de la troisième colonne sont les valeurs de θ exprimées par la même unité.

Pour obtenir θ ainsi défini, il faut réduire l'arc φ en parties aliquotes de cette unité et l'ajouter à $\theta - \varphi$ de la deuxième colonne.

Pour opérer cette réduction, il suffit de multiplier ces arcs φ par

$$\frac{2}{\pi} = 0{,}6366$$

Ainsi les nombres de la troisième colonne s'obtiennent en multipliant ceux de la première colonne par 0,6366 et en ajoutant ces produits aux nombres de la seconde colonne.

Quant aux nombres de la quatrième colonne, on les déduit directement de la formule (17)

$$u = \frac{\sqrt{1 + \varphi^2}}{\varphi^2}$$

où φ représente un arc.

Nous voyons donc que, dans ce calcul, φ nous a servi de paramètre auxiliaire entre θ et u, ces dernières étant les coordonnées de la courbe.

En effet, notre but est ici bien moins de chercher dans

cette courbe une relation graphique entre θ et u, que de la tracer afin d'en obtenir une relation cinématique entre φ d'une part et f de l'autre, c'est-à-dire entre

$$\varphi$$

et

$$\int u \sin(\theta - \varphi)\, d\varphi$$

ce qui nous a conduits dans le chapitre précédent à considérer u et θ comme des fonctions de φ.

Nous pouvons de cette manière choisir les limites entre lesquelles nous voulons intégrer

$$\int \frac{d\varphi}{\varphi}$$

et prendre ainsi le développement de courbe nécessaire.

Enfin, nous désirions, au moyen d'une réduction facile à opérer, obtenir pour f non pas le logarithme népérien, mais le logarithme ordinaire de φ.

Pour cela, il faut établir, entre la longueur de l'unité qui servira à tracer la courbe et celle de l'unité qui nous a servi à tracer le réseau de droites parallèles, une relation facile à déterminer.

Désignons par h une longueur métrique quelconque que nous prendrons comme unité pour le tracé du réseau.

Si f est le nombre d'unités lues sur le réseau, la longueur correspondante sera

$$fh$$

Soit r l'unité des valeurs de u, la longueur du fil déroulé sera

$$r\int_{\varphi_0}^{\varphi}\frac{d\varphi}{\varphi}=r\log\text{nép}\frac{\varphi}{\varphi_0}$$

φ_0 étant la valeur initiale de φ.

De sorte que l'introduction des deux unités r et h nous conduit à l'équation.

(18) $$fh=r\log\text{nép}\frac{\varphi}{\varphi_0}$$

Si la lecture de f doit nous donner le logarithme ordinaire de φ, il suffit de poser

$$f=\log\text{ord}\frac{\varphi}{\varphi_0}$$

d'où

(19) $$h\log\text{ord}\frac{\varphi}{\varphi_0}=r\log\text{nép}\frac{\varphi}{\varphi_0}$$

Telle est la condition à remplir pour que f indique le logarithme ordinaire de φ.

Cette condition se change aisément en la suivante :

(20) $$\frac{r}{h}=\frac{\log\text{ord}\frac{\varphi}{\varphi_0}}{\log\text{nép}\frac{\varphi}{\varphi_0}}=0{,}43429$$

d'où

$$r=0{,}43429\,h$$

Dans ce cas l'unité h représente le logarithme de 10.

Nous avons tracé la courbe S de la pl. IV en supposant

$$h = 200 \text{ millimètres}$$

d'où

$$r = 86^{mm},86$$

C'est à partir de la ligne $\overline{AC}$, prise comme axe des x, qu'ont été portées toutes les valeurs de θ du tableau précédent.

Dans la position S de la pl. IV, cet axe $\overline{AC}$ est horizontal ; par conséquent cette position ne correspond point à

$$\varphi_0 = 0$$

mais bien à

$$\varphi_0 = 90°$$

La courbe S′, indiquée en pointillé, est une autre position, pour laquelle

$$\varphi = 117°$$

de sorte que

$$\frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{117°}{90°} = 1,3$$

Dans les tables de logarithmes on trouve

$$\log 1,3 = 0,1139$$

Dans la planche IV, l'index M′ permet de lire sur son vernier la valeur f.

$$f = 0,114$$

valeur presque identique à celle des tables.

Dans la planche IV, le zéro du réseau horizontal correspond à un angle

$$\varphi = 57°,3$$

angle dont l'arc est égal au rayon pris pour unité.

Pour obtenir par le mouvement entier de la courbe les logarithmes des nombres compris entre 0,7 et 10, il faut nécessairement rapporter au rayon pris comme unité tous les arcs des angles de rotation.

C'est en opérant de cette manière que nous avons obtenu les chiffres suivants, en choisissant du reste les angles φ complètement au hasard.

Valeurs de $\int \frac{d\varphi}{\varphi}$ *transformées en logarithmes ordinaires.*

Arc φ	Lecture de l'index	Valeurs mesurées de log φ	Log φ tabulaire	Écarts absolus	Erreurs relatives
0,760	$\bar{1}$,757	$\bar{1}$,8785	$\bar{1}$,8808	0,0023	0,019
0,882	$\bar{1}$,885	$\bar{1}$,9425	$\bar{1}$,9455	0,0030	0,055
1,051	0,038	0,0190	0,0216	0,0026	0,120
1,258	0,194	0,0970	0,0997	0,0027	0,027
1,335	0,247	0,1235	0,1255	0,0020	0,016
1,601	0,406	0,2030	0,2044	0,0014	0,007
1,789	0,506	0,2530	0,2526	0,0004	0,002
2,144	0,662	0,3310	0,3312	0,0002	0,001
2,453	0,776	0,3880	0,3897	0,0017	0,004
2,869	0,917	0,4585	0,4577	0,0008	0,002
3,705	1,142	0,5710	0,5688	0,0022	0,004
3,973	1,201	0,6005	0,5991	0,0014	0,002
4,932	1,393	0,6965	0,6930	0,0035	0,005

Moyenne des écarts 0,00186 = 0mm,37

La moyenne des écarts numériques est plus grande dans cet exemple que dans les exemples précédents. En effet, nous avons trouvé :

Pour l'ellipse mobile. 0,15
» le cercle mobile. 0,30
» le cercle du procédé graphique 0,25
» la courbe logarithmique. 0,37

Ce dernier chiffre est supérieur aux précédents, parce que la courbe logarithmique n'a pas été tracée par un trait continu, comme le cercle, ni directement, comme l'ellipse, pour laquelle du reste les évaluations ont été répétées quatre fois. Cette courbe logarithmique, au contraire, a été calculée par points qu'il a fallu marquer au moyen de deux coordonnées, c'est-à-dire en entraînant deux chances d'erreurs.

Calcul de $\int e^{\operatorname{tang}\varphi}\, d\varphi$

Nous allons maintenant donner le calcul d'une courbe destinée à représenter cinématiquement et d'une manière continue l'intégrale numérique

$$\int_0^{\varphi} e^{\operatorname{tang}\varphi}\, d\varphi$$

Pour tracer cette courbe, nous avons employé la méthode des tangentes, représentées dans la figure (5) du premier mémoire.

Le calcul nécessaire pour ce tracé est celui de $\overline{\mathrm{OP}}$; et ici

$$\overline{\mathrm{OP}} = e^{\operatorname{tang}\varphi}$$

Ce calcul se fait facilement par logarithmes. On a pour cela :

$$\log \overline{OP} = \text{tang}\,\varphi \times \log e$$

$$\log (\log \overline{OP}) = \log \text{tang}\,\varphi + \log (\log e)$$

Ici on a

$$e = 2{,}71828\ldots$$
$$\log e = 0{,}4342942$$
$$\log (\log e) = \bar{1}{,}6377840$$

Pour variable φ, nous avons pris les angles de 0° à à 90°, de 5 en 5 degrés; le tableau suivant donne les valeurs de

$$e^{\text{tang}\,\varphi}$$

Calcul de $e^{\text{tang}\,\varphi}$

φ	log tang φ	log $e^{\text{tang}\,\varphi}$	$e^{\text{tang}\,\varphi}$
0°	infini négatif	0,00000	1,0000
5°	$\bar{2}$,94195	0,03800	1,0915
10°	$\bar{1}$,24632	0,07658	1,1928
15°	$\bar{1}$,42805	0,11637	1,3073
20°	$\bar{1}$,56107	0,15807	1,4390
25°	$\bar{1}$,66867	0,20251	1,5941
30°	$\bar{1}$,76144	0,25074	1,7813
35°	$\bar{1}$,84523	0,30410	2,0142
40°	$\bar{1}$,92381	0,36441	2,3142
45°	0,00000	0,43429	2,7183
50°	0,07619	0,51757	3,2928
55°	0,15477	0,62023	4,1709
60°	0,23856	0,75221	5,6521
65°	0,33133	0,93134	8,5377
70°	0,43893	1,19319	15,6023
75°	0,57195	1,62080	41,7638
80°	0,75368	2,46297	290
85°	1,05805	4,96398	92041
90°	infini	infini	infini

En jetant un coup d'œil sur ce tableau, on voit qu'à partir de 45°, les valeurs de $\overline{OP}$ croissent très rapidement, de sorte qu'après 70°, on ne peut guère obtenir de résultat.

En effet, si on représente l'unité par un centimètre, on aura

$$\varphi = 75^\circ \quad \overline{OP} = 0^m,42$$
$$\varphi = 80^\circ \quad \overline{OP} = 2^m,90$$
$$\varphi = 85^\circ \quad \overline{OP} = 920^m$$

et l'on est en général limité par le format du papier que l'on veut employer.

Nous avons représenté par la planche VI la courbe tracée avec les chiffres du tableau précédent, en prenant un centimètre comme unité.

Cette courbe se termine pour une valeur de φ comprise entre 60° et 65°.

La planche VI représente deux positions de la courbe.

Dans la position initiale S,

$$\varphi = 0$$

La position S' tracée en pointillé correspond à

$$\varphi = 10^\circ$$

Pour cet angle, le déplacement de l'index M est de $1^{mm},9$; ce qui donne :

$$\int_0^{10} e^{\operatorname{tang}\varphi}\, d\varphi = 0,19$$

Nous n'avons pas relevé de chiffres au moyen de cette courbe; mais nous nous bornerons, pour terminer ce sujet, à donner dans un tableau quelques valeurs de l'intégrale, calculées au moyen de la formule de Simpson et des chiffres du tableau précédent.

Nous n'entrerons pas dans le détail de ce calcul qui du reste peut être court et précis et ne présente aucune difficulté.

Valeurs de $\int e^{\tan\varphi}\, d\varphi$ *calculées par la formule de Simpson.*

Limites de φ	**Intégrale**	**Limites** de φ	**Intégrale**
0°–10°	0,19079	0°–10°	0,19079
10°–20°	0,22867	0°–20°	0,41946
20°–30°	0,27916	0°–30°	0,69862
30°–40°	0,35352	0°–40°	1,05214
40°–50°	0,47939	0°–50°	1,53153
50°–60°	0,74552	0°–60°	2,27705
60°–70°	1,61168	0°–70°	3,88873
70°–80°	13,75910	0°–80°	17,64783
80°–90°	Infini	0°–90°	Infini

Au moyen de ces chiffres, on peut vérifier l'exactitude des résultats fournis par les lectures de la planche VI.

CHAPITRE VI

Conclusions

Nous désirons exposer, à la fin de cette étude, les principales conclusions qui découlent naturellement de ce

second mémoire et les déductions qui en sont un complément nécessaire, si l'on veut avoir un coup d'œil d'ensemble sur le sujet.

En effet, le but que nous avons poursuivi n'est pas simple, mais complexe; il ne se dégage spontanément, ni de l'interprétation des équations générales, ni des calculs numériques exposés dans le chapitre précédent.

C'est en considérant le calcul (dans son acception la plus générale) comme un enchaînement nécessaire et obligatoire des propriétés infinies des fonctions, lorsqu'on donne aux paramètres qui entrent dans ces fonctions des valeurs finies, c'est en considérant le calcul sous ce point de vue, que nous avons conçu l'idée de remplacer tous les intermédiaires numériques (qui ne sont que des auxiliaires) *par la liaison intime de courbes solidaires.*

Le calcul d'une fonction numérique est donc ramené à une lecture et les nombres lus sont constamment égaux aux variations de la fonction entre telles limites que l'on veut.

Pour permettre au lecteur de suivre les déductions successives qui nous conduisent à ce résultat, nous récapitulons à grands traits cette étude.

Le problème s'est présenté d'abord sous la forme d'un cas particulier : il s'agissait de construire une courbe de correction pour le thermographe.

Un tracé fort simple nous a donné cette courbe, mais il était nécessaire de trouver par l'analyse mathématique les équations générales de ces transmissions de mouvement pour pouvoir, dans chaque cas et dans chaque position, contrôler les tracés graphiques et discuter les particularités propres à chaque courbe.

C'est cette recherche analytique qui a fait l'objet des chapitres I et II.

Le chapitre II n'est que le développement du théorème fondamental des courbes solidaires.

Ces deux chapitres nous ont conduits à des résultats que l'on peut exprimer ainsi :

1° *Deux courbes solidaires peuvent être remplacées par leurs développantes roulant l'une sur l'autre sans que le mouvement angulaire relatif de ces courbes en soit modifié.*

2° *On peut toujours relier les coordonnées de deux courbes solidaires par trois équations entre quatre expressions symétriques deux à deux par rapport à ces courbes et aux angles de rotation de l'une et de l'autre.*

Dans le chapitre III, nous avons vu de quelle manière on doit procéder pour calculer les coordonnées de l'une des courbes quand l'autre est un cercle :

Dans le cas où l'une des courbes solidaires est un cercle donné, on peut toujours calculer les coordonnées de l'autre courbe, connaissant la relation qui relie les angles de rotation α *et* α'.

Ces trois premiers chapitres forment un tout qui suffirait parfaitement pour résoudre les problèmes analogues à celui du thermographe et vérifier les constructions cinématiques pour un point quelconque.

D'une manière générale, ces cas peuvent se représenter par les conditions suivantes :

1° *Disposition mécanique qui permet de transformer automatiquement les indications fournies par un instrument en une fonction déterminée de ces indications.*

2° *Disposition mécanique inverse de la précédente. C'est-à-dire : disposition mécanique permettant d'astreindre la marche d'un phénomène expérimental à être constamment en corrélation donnée avec une fonction déter-*

minée, comme la durée du phénomène, la vitesse d'un corps, le poids ou l'étendue d'un autre corps quelconque.

Dans les chapitres IV et V, nous avons appliqué l'équation générale du mouvement à deux courbes solidaires dont les équations différentielles ont leurs variables séparées :

(1) $$\overline{OP}\, d\alpha = \overline{O'P'}\, d\alpha'$$

Nous avons montré que l'on pouvait toujours tracer et calculer les coordonnées des courbes solidaires S et S' de façon que les perpendiculaires :

$$\overline{OP} \text{ et } \overline{O'P'}$$

fussent des fonctions données des angles de rotation des courbes S et S'.

On obtient de cette manière, d'une façon continue, la relation entre α et α' indiquée dans l'équation (1).

Au moyen des formules du chapitre IV, on pourra toujours disposer deux courbes solidaires à une distance non infinie de telle sorte que l'on ait la relation :

$$F(\alpha)\, d\alpha = F'(\alpha')\, d\alpha'$$

Si nous appelons α_0 et α'_0 les valeurs initiales des angles de rotation des deux courbes, nous pourrons toujours avoir l'égalité (2).

(2) $$\int_{\alpha_0}^{\alpha} F(\alpha)\, d\alpha = \int_{\alpha'_0}^{\alpha} F'(\alpha')\, d\alpha'$$

Dans le chapitre V, nous avons développé quelques exemples numériques relatifs au cas *où l'une des courbes solidaires est située à une distance infinie.*

Nous l'avons supposée au centre de la terre, admettant que deux verticales voisines sont parallèles.

On peut, sans commettre une grande erreur, supposer que les deux courbes solidaires, tracées par une distance infinie, sont ensuite placées à une distance grande, mais finie.

Ainsi en reliant par un fil tangent deux des courbes présentées au chapitre V, on pourrait, sans aucun tâtonnement, résoudre par rapport à α ou α' une des équations suivantes :

$$\int_{\alpha_0}^{\alpha} \sqrt{1 - e^2 \cos^2 \alpha}\, d\alpha = \alpha' + \sin \alpha'$$

$$\int_{\alpha_0}^{\alpha} \sqrt{1 - e^2 \cos^2 \alpha}\, d\alpha = \int_{\alpha'_0}^{\alpha'} e^{\operatorname{tang} \alpha'}\, d\alpha'$$

$$\alpha + \sin \alpha = \text{log. nép. } \frac{\alpha'}{\alpha'_0}$$

etc., etc.

Les résultats obtenus s'obtiendraient d'autant plus exactement, que les courbes seraient placées plus loin l'une de l'autre.

Lorsque les courbes se rapprochent, on pourra toujours opérer numériquement au moyen des *approximations successives.*

Nous pouvons donc, au moyen des méthodes exposées précédemment, exprimer d'une manière continue l'éga-

lité entre deux fonctions numériques quelconques de α et de α' selon l'équation (2).

Les quantités α_0 et α'_0 dépendent de la position initiale des courbes solidaires.

Posons

$$\int F(\alpha)\, d\alpha = F_1(\alpha) + \text{constante}$$

$$\int F'(\alpha')\, d\alpha' = F_1'(\alpha') + \text{constante}$$

et

$$F_1(\alpha_0) - F_1'(\alpha'_0) = i$$

L'équation (2) se ramène par ce fait à la forme suivante :

$$F_1(\alpha) - F_1'(\alpha') = i$$

Dans cette équation i est une *fonction paramètre* que l'on peut faire varier à volonté, tandis que les expressions :

$$F_1(\alpha)$$

et

$$F_1'(\alpha')$$

sont des fonctions numériques de α et de α'.

Maintenant considérons le cas où, au lieu de deux courbes solidaires, on en aurait plusieurs, toutes reliées par des fils inextensibles et tangents.

On introduirait par ce moyen un nombre quelconque de paramètres dans les équations générales exprimées par ces courbes.

Nous concevons donc la *possibilité matérielle de relier des fonctions de variables entre elles au moyen d'un système de courbes solidaires.*

Dans ces équations qui deviennent solidaires entrent autant de paramètres qu'on veut. De plus on peut faire varier ces paramètres à volonté sans modifier la forme même des courbes du système solidaire.

Pour faire varier ces paramètres, il suffira de déplacer une des courbes d'une certaine façon par rapport aux autres, de raccourcir ou d'allonger tel ou tel fil, pour faire varier à volonté tous les paramètres.

Nous arrivons donc à cette conclusion que nous soulignons :

Au moyen d'un système de courbes solidaires, l'équation qui relie les angles de rotation des courbes, ne contient plus que des VALEURS INDÉTERMINÉES DE CES PARAMÈTRES.

Cette équation sera donc uniquement une *fonction des variables et des paramètres auxquels on donne à volonté des valeurs quelconques.*

Nous allons montrer que ce système de courbes solidaires représente en germe : une *machine à calcul universelle.*

Nous pouvons rendre évidente cette conclusion par les considérations suivantes :

Désignons les paramètres quelconques par les lettres :

$$a \,.\, b \,.\, c \,.\, d \ldots\ldots\ldots$$

Et les angles variables de rotation par les lettres :

$$\alpha \,.\, \beta \,.\, \gamma \,.\, \delta \,.\, \varepsilon \ldots\ldots\ldots$$

Le système de courbes solidaires résoudra directement tous les systèmes d'équations de la forme : (3)

$$(3) \quad \begin{cases} F(\alpha \,.\, \beta \,.\, \gamma \,.\, \delta \ldots\ldots a\ b\ c\ d\ldots) = o \\ F_1(\alpha \,.\, \beta \,.\, \gamma \,.\, \delta \ldots\ldots a\ b\ c\ d\ldots) = o \\ F_2(\alpha \,.\, \beta \,.\, \gamma \,.\, \delta \ldots\ldots a\ b\ c\ d\ldots) = o \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases}$$

etc., etc.

Chaque fois que l'on donnera à *a, b, c*, etc., des valeurs spéciales qui resteront constantes pendant une même série de déterminations, la forme des équations (3) est numérique par rapport à

$$\alpha \,.\, \beta \,.\, \gamma \,.\, \delta \ldots\ldots$$

Mais les paramètres *a, b, c, d* étant constants pendant que les angles :

$$\alpha \,.\, \beta \,.\, \gamma \,.\, \delta, \text{ etc.}$$

varient simultanément, on peut dire que les équations (3) *renferment des fonctions analytiques quelconques de :*

$$\alpha \,.\, \beta \,.\, \gamma \,.\, \delta, \text{ etc.}$$

dont les paramètres

$$a \,.\, b \,.\, c \,.\, d, \text{ etc.}$$

sont les constantes.

C'est en étudiant les systèmes de courbes solidaires sous ce point de vue qu'on pourra probablement poser les éléments de la construction d'un appareil destiné à fournir à volonté les valeurs numériques de diverses fonctions d'une variable contenant un certain nombre de constantes.

Avec un système semblable, on obtiendrait sans aucune difficulté les intégrales elliptiques, par exemple, quand l'excentricité e serait quelconque.

On ne devrait nullement calculer de nouvelles courbes; on n'aurait qu'à déplacer le centre de rotation ou le point de fixation du fil inextensible.

Nos deux derniers chapitres fournissent les données suffisantes, comme méthodes de tracés et formules pour faciliter la réalisation pratique d'un semblable instrument.

Au moyen des développements en série, il sera facile de modifier à volonté la distance des centres de rotation des diverses courbes, tout en maintenant les mêmes relations entre α et α'. Les corrections dans le tracé des courbes solidaires seront aisément opérées.

C'est cette possibilité de construire *une machine à calculer universelle* qui résume, pour ainsi dire, tous les résultats obtenus dans les chapitres IV et V et c'est là aussi notre dernière conclusion.

RAOUL PICTET,
GUSTAVE CELLÉRIER.

LE LIMNOGRAPHE DE SÉCHERON

(PRÈS GENÈVE)

PAR

M. Ph. PLANTAMOUR

Depuis dix-huit mois que fonctionne mon limnimètre enregistreur, que j'appelle plus simplement limnographe, j'ai pu étudier suffisamment l'excellence de sa marche à tous les points de vue pour estimer que le moment est venu d'en faire connaître la construction. Je voudrais pouvoir espérer que les détails qui vont suivre décideront les personnes que ces questions intéressent et qui habitent sur le bord d'un lac à établir chez elles un appareil semblable, pour permettre de comparer les résultats qu'offriraient différentes stations.

Mon limnographe a été construit par la Société Genevoise pour la construction d'instruments de physique d'après celui imaginé et établi un an auparavant par M. le prof. Dr A.-F. Forel[1] à Morges. Il diffère toutefois de ce dernier : 1° en ce que la transformation du mouvement vertical du flotteur en mouvement horizontal s'opère par des rubans de cuivre qui s'enroulent et glissent sur des poulies à gorges, tandis que dans l'appareil de M. Forel cette transformation est exécutée par un système de parallèlogrammes articulés; 2° en ce qu'à côté du crayon

[1] *Arch. des Sc. ph. et nat.* LVI, p. 305, août 1876.

qui trace les oscillations en grandeur naturelle il en est ajouté un second qui les reproduit avec une réduction au cinquième et cela pour pouvoir enregistrer les grandes seiches dont l'amplitude dépasse souvent à Sécheron les dimensions du papier ; enfin 3° en ce qu'il indique automatiquement les heures en traçant un petit angle aigu ou coche sur la ligne de marche que produit un troisième crayon.

L'instrument a été installé au-dessus d'un puits de 1m,20 de diamètre creusé dans ce but contre le mur de soutènement de la terrasse sur le lac et qui est alimenté par ce dernier au moyen d'un tuyau en fonte de 10 centimètres de vide, reposant sur le fond du lac et qui s'y prolonge d'environ 5 mètres. Dans les plus basses eaux qui peuvent se présenter sous le régime d'hiver ce tuyau est encore recouvert par environ 60 centimètres d'eau. L'eau du puits prend exactement le même niveau que le lac, mais la surface en est toujours unie, n'étant pas influencée par les rides superficielles de ce dernier.

Sur la surface de l'eau du puits repose un flotteur en zinc *F*, Pl. VII, fig. 2, de 80 centimètres de diamètre et 20 centimètres de hauteur, entouré, comme dans l'appareil de M. Forel, à sa partie inférieure et extérieure d'une bande de toile toujours mouillée, qui empêche la formation de ménisques. Le fond de ce flotteur est renforcé par une croix formée par des doubles nervures en zinc, soudées de champ et dont le point d'intersection est muni d'un pas de vis dans lequel est solidement fixée la tige TT' (fig. 2 et 1).

Cette tige porte une règle ab en forme de T, laquelle peut, à l'aide des presses c et c' être fixée plus ou moins haut sur la tige selon ce qu'exige la hauteur des eaux.

La règle est maintenue dans la position verticale au moyen de quatre galets très mobiles à rainures, qui n'ont pas pu être figurés dans le dessin de perspective, entre lesquels elle se meut librement et qui sont placés deux en *e'* et deux en *e* contre des plaques en fer qui réunissent aux deux endroits les supports *B* et *B'* très solidement vissés à la table massive qui porte l'instrument. Cette disposition centre d'une manière permanente le flotteur dans le puits.

A la partie inférieure de la règle *a b* et à un point convenable *z*, dépendant du maximum possible de la hauteur du lac, est fixé un ruban de cuivre de 10 millimètres de largeur, dont l'autre extrémité est vissée à la circonférence de la poulie *R* après avoir fait le nombre de tours voulus pour que la longueur du ruban suffise au déroulement en sens contraire produit par l'abaissement des eaux au minimum de hauteur probable du lac.

La poulie *R*, fig. 1, de 50 centimètres de diamètre, faite en tôle de laiton à jour, renflée au centre pour lui donner de la solidité et dont l'axe repose sur le support *B*, est munie en arrière d'une gorge concentrique de 30 centimètres de diamètre (invisible sur le dessin), sur laquelle est fixé et enroulé en sens inverse du premier ruban un second ruban de cuivre dont l'extrémité libre porte un contrepoids *P*, destiné à faire équilibre au poids de l'appareil flotteur. Par cette disposition le flotteur, surnageant comme un liège sur la surface de l'eau du puits, en suit avec la plus grande exactitude les moindres mouvements de hausse et de baisse. Mais réciproquement il en résulte aussi que la poulie *R* elle-même, sollicitée tantôt par le flotteur lorsqu'il s'abaisse tantôt par le contrepoids *P* quand l'eau s'élève, suit rigoureusement tous les mouvements de cette dernière.

A côté de la gorge périphérique de la poulie R occupée par le premier ruban relié à la tige du flotteur, se trouve une seconde gorge, dans laquelle, après avoir été fixé à la circonférence, s'enroule en sens inverse du précédent un autre ruban qui passe sous le galet G très mobile et qui se rattache en m à un chariot allongé $m\,m'$, maintenu dans l'horizontalité et dans le plan de la poulie par un système de galets verticaux et horizontaux d'une grande mobilité et fixés sur des consoles ajustées aux supports du pont $n\,n'$ sur lequel glisse le papier. Le chariot en forme de T et en laiton est sollicité à son extrémité m' au moyen d'un ruban de cuivre par le contrepoids p qui maintient toujours tendu le ruban qui de m se rattache à la poulie R. Au milieu de ce chariot est adaptée une douille verticale dans laquelle glisse le porte-crayon v dont le poids suffit pour que la mine de graphite, convenablement choisie, trace une ligne d'une grande netteté sur le papier qui se déroule sous elle.

Le papier du rouleau S, de 30 centimètres de largeur, glisse sur le pont $n\,n'$ et sous le crayon, et est entraîné avec une vitesse de 6 centimètres à l'heure entre deux rouleaux de laiton légèrement rugueux $i\,i'$, dont l'inférieur reçoit son mouvement de rotation de l'axe des minutes de l'horloge.

L'horloge étant mise en marche et les rubans de cuivre fixés comme il a été dit plus haut, le crayon reproduira sur le papier d'un trait continu et avec la grandeur naturelle tous les mouvements de hausse et de baisse du lac et cela jusqu'aux fractions de millimètres.

Un second crayon u est librement ajusté dans une douille semblable à celle du crayon v; cette douille est fixée à l'extrémité du petit bras d'un levier mobile hori-

zontalement autour d'un pivot porté par une console vissée au support de gauche n' du pont, et un déclic établi à l'extrémité du grand bras de ce levier imprime à chaque heure un mouvement brusque au crayon, qui laisse sur le papier une coche perpendiculaire à la ligne de marche tracée par le même crayon à 2 centimètres du bord[1]. Nous verrons plus loin pourquoi cette ligne est appelée ligne de marche. Après avoir numéroté l'une quelconque de ces coches, d'après l'indication de l'horloge, on pourra ensuite écrire les heures suivantes en regard de chaque coche.

Des lignes à l'encre rouge tirées d'après les sommets de ces coches, perpendiculairement à la ligne de marche et qui coupent le tracé du crayon v de 6 en 6 centimètres, donnent exactement la courbe ou le mouvement du lac correspondant à chaque heure.

Comme à Sécheron les mouvements du lac peuvent et de beaucoup dépasser les limites du papier, il était indispensable d'introduire un arrangement convenable, pour que le crayon ne pût pas en sortir ou même aller se briser entre les galets de direction du chariot. Dans ce but, le ruban de cuivre, percé d'un petit trou de 5 en 5 centimètres, au lieu d'être fixé en m par une vis à tête à l'extrémité du chariot, s'y rattache au moyen d'une goupille en acier poli, vissée par sa base à ce dernier et que l'on introduit dans celui des trous du ruban qui convient d'après la hauteur du lac à ce moment. Entre le ruban et l'extrémité du chariot se place un petit coussinet dont le centre est percé d'un trou pour donner librement pas-

[1] Les dimensions du dessin n'ont pas permis de figurer ce petit appareil sans produire de la confusion, mais il me semble qu'on se rendra compte facilement de la manière dont il fonctionne.

sage à la goupille, mais qui est arrondi en dessous sur les bords extérieurs et plat sur la face supérieure sur laquelle repose le ruban. Si le coussinet est soulevé, le ruban est désembrayé. Pour soulever le coussinet on a ajusté au support du galet *G* fig. 1, un coin *f*, évidé au centre *f* fig. 3, pour donner passage soit au ruban soit à la goupille. Le lac venant à baisser brusquement, le ruban tire le chariot contre le coin qui s'introduit sous le coussinet et le soulève peu à peu jusqu'à ce qu'enfin le ruban quitte la goupille; dès lors le chariot devenu libre, est vivement ramené à gauche par le contrepoids *p*. Le coin *f* a été ajusté au support du galet *G* à une distance telle de l'extrémité *m* du chariot que le désembrayage du ruban s'effectue au moment où le crayon *v* s'est approché à 1 millimètre du bord du papier.

Nous avons vu qu'après le désembrayage le chariot porte-crayon était vivement ramené à gauche par le contrepoids *p*. Pour le retenir dans sa course il est muni à sa partie inférieure d'un arrêt *s* qui va heurter contre le butoir *t* garni de caoutchouc pour amortir le choc assez violent. L'arrêt *s* est en outre placé à la distance voulue du crayon pour qu'il touche le butoir au moment où ce crayon est arrivé à 1 millimètre du bord du papier. Ces dispositions apportées à chaque extrémité du chariot empêchent absolument le crayon de dépasser les limites du papier et d'occasionner par suite quelque accident fâcheux pour l'instrument.

En maintenant le crayon autant que possible un peu à gauche du milieu du papier à l'égard de la moyenne de l'amplitude des oscillations du lac, comme les maximum d'abaissement sont en général égaux aux maximum d'élévation, on peut le plus souvent éviter le désembrayage.

Mais, en revanche, lorsque le crayon devrait tracer le point culminant de la courbe lors de l'élévation, il peut en être empêché par l'arrêt et se borne à décrire une ligne droite parallèle à un millimètre du bord du papier, pour s'en éloigner de nouveau lorsque le lac s'est suffisamment abaissé.

Il est évident que, tel que nous venons de l'exposer, cet instrument ne peut reproduire sur le papier que des oscillations du lac dont l'amplitude maximale ne dépasse pas 298 millimètres, puisque le papier a 300 millimètres de largeur. Or, à Sécheron, j'ai déjà eu à enregistrer, depuis l'année dernière, des seiches de 450 millimètres, et elles ont atteint antérieurement, bien qu'excessivement rarement, une amplitude qui s'est élevée jusqu'à $1^{m},50$. Pour ne pas manquer des phénomènes aussi intéressants, mon limnographe[1] a été muni d'une poulie *r* ayant le même axe que la grande poulie *R*, mais dont le diamètre n'est que de 10 centimètres, tandis que celui de la grande est de 50 centimètres. Un second chariot porte-crayon[2]

[1] Pour être exact je dois dire que l'instrument a été construit dans l'origine pour la réduction seule, dans l'idée que les mouvements de balancement du lac à Sécheron présentaient presque habituellement des amplitudes de plus de 30 centimètres (c'était le résultat de la confusion de deux faits bien différents, savoir du balancement rythmique permanent du lac avec les seiches proprement dites qui sont rares, accidentelles et de courte durée). Mais dès qu'il a fonctionné j'ai pu me convaincre que ces grandes amplitudes étaient de rares exceptions. Dès lors la courbe réduite n'offrant que des maximum d'amplitude de 1 à 15 ou 20 millimètres m'a paru dépourvue d'intérêt, ne permettant pas de distinguer facilement et d'étudier les phénomènes qui accompagnent les mouvements ordinaires, et j'ai fait ajouter à la circonférence de la poulie R une gorge pour recevoir un ruban destiné à reproduire les oscillations en grandeur naturelle.

[2] Ce second chariot n'a pas été représenté dans le dessin pour

semblable à celui décrit plus haut, disposé de la même manière, placé en avant du premier sur le même pont, sollicité d'un côté par le ruban venant de la poulie *r* et de l'autre par un contrepoids pareil à *p*, produit sur le papier une courbe qui est la réduction au cinquième de la grandeur naturelle des oscillations. Ce crayon de réduction peut, par conséquent, sans sortir des limites du papier, enregistrer des seiches d'environ $1^{m},50$, ce qui peut suffire jusqu'à ce que de nouveaux faits se présentent. Si donc des oscillations du lac dépassant 30 centimètres d'amplitude mettent le crayon qui les trace en grandeur naturelle hors d'état de fonctionner, on retrouvera dans la courbe réduite au cinquième tous les mouvements qui se seront présentés et qu'il suffit de multiplier par 5 pour avoir leur amplitude réelle.

Voici maintenant comment on procède pour que l'instrument donne directement à quelque moment que ce soit la hauteur absolue du lac au-dessus du zéro de l'échelle limnimétrique, lequel est situé à 3 mètres au-dessous de la plaque scellée sur la pierre du Niton dans le port de Genève. C'est cette plaque ou repère située à une altitude de $376^{m},86$ qui sert de base au nivellement de la Suisse.

Contre le mur très épais du petit port de ma campagne, en face d'une fenêtre de la maison, j'ai fait poser une échelle graduée en centimètres dont le zéro est exactement à 3 mètres au-dessous du repère de la pierre du Niton. Cette échelle, qui plonge dans le lac, se trouve environ à 70 mètres du pavillon qui abrite le limnographe. D'autre part, la règle *a b* fig. 1 en forme de T est divisée

éviter la confusion. L'agencement en est d'ailleurs exactement pareil à celui figuré en *m m'*, à l'exception de l'appareil de désembrayage qui est supprimé comme inutile pour la réduction.

en centimètres, peinte en blanc et se meut verticalement contre la plaque e' dont l'arête $x\,x'$ sert d'indicateur. Une personne, dans la maison, vise avec un télescope l'échelle qui plonge dans le lac; elle me transmet dans le pavillon par un téléphone le moment précis auquel la surface du lac correspond à une division de l'échelle et m'en indique le quantième que j'inscris au fusain[1] sur la division de la règle qui coïncide avec l'indicateur $x\,x'$. Après cela je change de place avec mon aide pour vérifier l'exactitude de la première lecture de l'échelle plongeante; l'indication en est transmise comme avant par le téléphone et je numérote ensuite la règle de 5 en 5 centimètres au-dessus et au-dessous du point qui a été déterminé. De cette manière la tige du flotteur se trouve graduée avec une rigueur absolue à l'égard de la hauteur du lac et donne à chaque instant, par le chiffre qui se présente à l'indicateur $x\,x'$ la hauteur exacte de l'eau au-dessus du zéro de l'échelle qui sert à la mesurer.

Il reste encore à reporter sur le papier la cote de hauteur du lac. Dans ce but, regardant la règle $a\,b$, on attend le moment où une division coïncide exactement avec l'indicateur $x\,x'$ et à cet instant on pèse légèrement sur le crayon v de manière à produire un point sur la courbe qu'il trace. On prend ensuite, à l'aide d'une règle millimétrique, la distance de ce point à la ligne de marche que trace le crayon u, on ajoute cette distance au chiffre indiqué par la règle $a\,b$ au moment où on a fait le point et

[1] Il convient de faire le numérotage de la règle au fusain afin qu'on puisse facilement l'effacer pour le changer chaque fois que la hauteur de l'eau exige qu'on élève ou abaisse sur la tige du flotteur la règle $a\,b$ dont les extrémités ne doivent jamais s'engager dans les galets de direction. Cette opération se présente quatre à cinq fois par an.

la somme de ces deux nombres est la valeur qu'il faut attribuer à la ligne de marche. Ainsi, je suppose qu'au moment où le point a été fait, la règle *a b* indiquait $1^m,48$, que la distance du point à la ligne de marche était $0^m,085$, la valeur à attribuer à la ligne de marche est $1^m,565$. Réciproquement la ligne de marche étant déterminée, on trouve très facilement quelle était la hauteur du lac à n'importe quelle époque antérieure : il suffit pour cela de retrancher de la valeur de la ligne de marche la distance de cette ligne au point d'intersection de la courbe avec la ligne correspondant à l'heure voulue. La différence est la hauteur cherchée. Si la veille à 1 $^1/_2$ heure du matin cette distance était par exemple de $0^m,178$, la hauteur du lac à ce moment était $1^m,565 - 0^m,178 = 1^m,387$. On conçoit facilement maintenant pourquoi la ligne droite que le crayon *u* trace au bord du papier s'appelle *ligne de marche,* car c'est elle qui, à quelque moment que ce soit, fournit les données nécessaires pour calculer exactement la marche de l'eau et la hauteur absolue de celle-ci au-dessus du zéro de l'échelle.

C'est entre autres au moyen de la ligne de marche que chaque jour, à l'aide du planimètre Amsler, je détermine la hauteur moyenne exacte du lac du jour précédent entre 9 heures du matin et 3 heures de l'après midi; ce qui me permet au bout de l'année de tracer avec la plus grande exactitude la courbe annuelle des hauteurs moyennes diurnes du lac.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que pour calculer la hauteur du lac d'après la courbe de réduction au cinquième, quand par exemple le crayon de la grandeur naturelle ne peut plus fonctionner, la ligne de marche doit avoir une autre valeur que celle attribuée à la grandeur naturelle. Cette valeur s'obtient en multipliant par 5 la

distance à la ligne de marche du point que l'on a fait avec le crayon de réduction au moment où l'indicateur $x\ x'$ coincidait avec une division de la règle *a b* et en ajoutant à ce produit le quantième de cette division. On inscrit ainsi chaque jour sur les diagrammes les deux valeurs de la ligne de marche, celle pour la grandeur naturelle et celle pour la réduction, qui restent les mêmes jusqu'à ce que la hauteur de l'eau oblige à changer le point d'attache du ruban au chariot, dans le but de ramener les crayons près du milieu du papier.

Je suis heureux de pouvoir saisir cette occasion pour remercier M. Th. Turrettini, le directeur de la Société Genevoise pour la construction d'instruments de physique, de l'intérêt qu'il a témoigné et des soins qu'il a fait apporter dans l'exécution de cet instrument de précision, qui a réussi de la manière la plus satisfaisante.

Il ne sera pas déplacé de mentionner ici quelques précautions utiles à prendre pour être assuré que les traits produits par les crayons soient toujours nets. Après beaucoup de tâtonnements, j'ai adopté pour les crayons qui tracent les oscillations du lac et qui s'usent plus vite, le n° 2 de la mine mobile de A.-W. Faber et pour celui de la ligne de marche le *B* graphite de Sibérie du même fabricant. Avec d'autres numéros ou bien la mine marque mal, ou bien elle s'émousse trop vite. Un crayon trop dur oblige à charger le porte-crayon[1] d'un poids, mais alors le papier est facilement entamé. J'ai remarqué en outre que par des temps humides le papier s'amollissait[2]

[1] Le porte-crayon pèse environ 16 grammes.

[2] Il serait à désirer pour les enregistreurs météorologiques en général qu'on pût se procurer des papiers moins hygroscopiques en en soumettant la pâte à des lavages plus prolongés pour la débar-

au point que les crayons, même ceux indiqués plus haut, y creusaient un sillon souvent sans trace de mine de graphite. C'est dans cette conjoncture qu'il est dangereux de charger le porte-crayon pour le faire marquer, car le papier en serait infailliblement écorché et déchiré. Pour obvier à cet inconvénient j'ai établi dans le pavillon, au moyen d'un petit thermostat (85 centimètres sur 10) au charbon de bois, un chauffage très pratique et peu dispendieux qui, avec une consommation d'environ huit litres de charbon dans les vingt-quatre heures et ne s'éteignant que très rarement, 3 à 4 fois par mois, maintient le pavillon (en planches doublées) à une température variant de 8° à 16° C, le papier toujours sec et dur et le trait du crayon net et foncé.

Bien que j'aie déjà près de 800 mètres de papier sur lequel les mouvements du lac sont reproduits par une courbe continue, je n'ai guère à signaler des faits nouveaux à l'égard de ceux que j'ai consignés dans les deux notes insérées dans les numéros de ce Journal de mars et de décembre 1877 et de ceux qu'a relevés de son côté M. le prof. Forel[1], auquel je communique régulièrement mes tracés. Cependant, dans le n° de décembre, page 512, à l'occasion de la cause probable des seiches, qui ne me semblaient pas jusqu'alors pouvoir être attribuées à des tremblements de terre plus ou moins rapprochés, j'ajoutais : « seraient-elles produites par la coïncidence de forts coups de vent à Genève avec une dépression barométrique dans le haut du lac ? » Le phéno-

rasser plus complètement du chlorure de calcium et en les apprêtant avec la colle la moins hygroscopique possible.

[1] *Archives des Sciences phys. et nat.*, LIX, 56, 62, 63.

mène inverse ou à peu près s'est présenté le 7 octobre de cette année. A cette date, à une heure après midi, M. Raoul Pictet se trouvant en bateau à vapeur au Bouveret (haut lac) essuya un coup de vaudaire (vent du Valais) d'une grande violence qui fit bouillonner la surface du lac et renversa des arbres sur la rive.

Lorsqu'à la fin du mois il me fit part de ce fait nous examinâmes mes diagrammes qui indiquaient à la même heure une élévation subite du lac de 3 centimètres à Sécheron, tandis que les observations météorologiques que j'inscris en regard des tracés portaient que l'air était calme et qu'il n'y avait pas eu une dépression barométrique sensible. Ainsi, dans ce cas, la pression du vent seule à l'extrémité orientale du lac avait suffi pour élever l'eau à Sécheron au même moment de 3 centimètres au-dessus de l'amplitude de balancement du lac, qui était de 6 à 7 centimètres ce jour-là depuis 7 heures du matin. Le même jour à 2 heures 50 minutes de l'après midi il y a eu en revanche à Sécheron une baisse subite du lac de 55 millimètres comparativement au minimum de l'oscillation précédente; cependant le baromètre avait baissé depuis une heure de $2^{mm},25$ et l'air était parfaitement calme. Il ne m'a pas été donné de connaître les conditions météorologiques dans lesquelles se trouvait dans ce moment le haut du lac. On voit d'après cela qu'un vent très violent seul ne produit qu'une très petite seiche et nous ne savons rien encore des causes qui donnent lieu aux grandes seiches de 50 à 150 centimètres ni de celles qui entretiennent le balancement rythmique du lac. Espérons qu'à force d'accumuler les observations ces causes finiront par être découvertes.

Je voudrais pour terminer attirer l'attention sur l'ana-

logie que présente parfois la forme des oscillations rythmiques du lac tracées par le limnographe, avec celle que M. le Dr Schneebeli[1] a obtenue, au moyen de son ingénieux phonautographe, pour les différentes voyelles. Quelques-unes des voyelles, comme *o, é, i, eu, u* et *r*, donnent lieu à des ondulations qui, en petit, sont parfaitement semblables à celles que produit le lac pendant certaines périodes plus ou moins longues, dans certaines circonstances qui n'ont pas encore été déterminées, et d'autres comme *a, ou,* et *ai* donnent lieu à des ondulations qui sans être tout à fait semblables présentent cependant le même caractère.

Cette analogie dans la forme des vibrations doit impliquer une analogie dans la cause qui les produit. Or on sait que les sons caractérisés par des timbres différents, résultent de la concomitance du son fondamental avec des sons harmoniques supérieurs. La forme de vibration des oscillations rythmiques du lac pourrait donc aussi être expliquée par la concomitance de l'oscillation fondamentale (uninodale) de 73 minutes avec des oscillations 2, 3, 4 fois plus rapides (bi-trinodales, etc.).

[1] *Archives des Sciences phys. et nat.* octobre 1878, LXIV, page 81.

NOTE

SUR

L'EFFET UTILE DES MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES

ET SUR LA

PRODUCTION DE LA LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

PAR

M. A. ACHARD, ingénieur.

Les perfectionnements qui ont été apportés aux machines magnéto-électriques depuis quelques années ont donné une nouvelle impulsion aux essais faits pour étendre l'emploi de la lumière électrique, et par suite ont provoqué diverses expériences destinées à comparer le travail mécanique que ces machines absorbent avec l'intensité lumineuse qu'elles permettent d'obtenir. Mais la production de la lumière n'est qu'une application spéciale du courant qu'elles fournissent, et il convient, à un point de vue plus général, de les envisager sous le rapport de l'intensité du courant qu'elles peuvent fournir dans des circonstances données, ou, pour parler plus exactement, au point de vue de leur *effet utile.*

Il nous faut d'abord préciser ce que nous entendons par ce terme.

Quand le courant d'une pile n'est appliqué à effectuer aucun travail mécanique sous une forme quelconque, la chaleur qui se dégage dans tout le circuit pendant l'unité de temps est l'équivalent exact du travail positif net des

affinités chimiques dans la pile; et l'on sait que, en vertu de la loi de Joule, cette chaleur est proportionnelle à la résistance totale du circuit et au carré de l'intensité du courant.

Mais la force électro-motrice E de la pile peut être considérée comme constituant la différence de potentiels qui détermine le transport de l'électricité, en sorte que, si on la multiplie par l'intensité i du courant, c'est-à-dire par la quantité d'électricité écoulée durant l'unité de temps, le produit $E\,i$ représente le travail que le courant électrique peut, sous une forme ou sous une autre, accomplir dans le même temps. Comme, en vertu de la loi de Ohm, on a $E = i\,R$, R étant la résistance totale du circuit, ce produit peut encore s'exprimer par i^2R. Cette quantité i^2R est donc homogène avec une quantité de travail; elle représente un certain travail exprimé dans une unité qui dépend des unités adoptées pour exprimer i et R; et quand, d'après la loi de Joule, on représente par $A\,i^2R$ la quantité de chaleur dégagée par unité de temps dans tout le circuit, dans les conditions indiquées, le rapport de proportionnalité A n'est autre chose que l'*équivalent thermal du travail* rapporté à l'unité de travail en question.

Si le courant au lieu d'être produit par une action chimique, comme celui d'une pile, est produit par une action mécanique, le produit i^2R conserve la même signification. Il constitue donc l'*effet utile absolu* d'une machine magnéto-électrique, à la condition de comprendre dans R la résistance des portions de circuit tant fixes que mobiles qui appartiennent à l'appareil lui-même. Mais ici il intervient des pertes de travail par suite desquelles le produit i^2R est nécessairement inférieur au travail T dépensé par

unité de temps pour faire marcher la machine : le rapport $\frac{i^2R}{T}$ représentera alors l'*effet utile relatif* ou le *rendement* de la machine. C'est ce rapport qu'il serait utile de connaître pour les diverses machines usitées : ce sera un des principaux éléments qui serviront à apprécier leur mérite relatif.

Parmi les expériences que M. le professeur Hagenbach a exécutées sur une machine Gramme et qui ont été reproduites dans ce Recueil en 1876, il n'y en a qu'une seule pour laquelle il fournisse le résultat d'une mesure dynamométrique. Mais c'était une expérience avec production de lumière, et l'on peut se demander si l'irrégularité de la résistance de l'arc voltaïque n'enlève pas toute valeur à l'expérience.

M. Hagenbach, ayant repris dans le courant de cette année de nouvelles expériences sur une machine Gramme, a bien voulu, à notre demande, compléter par des mesures dynamométriques quelques-unes de ses expériences faites sans production de lumière, et nous en communiquer les résultats. Nous avons traduit ceux-ci en unités absolues (centimètre-gramme-seconde) pour en déduire ensuite le rendement.

Les mesures de résistance fournies par M. Hagenbach sont exprimées en unités Siemens, et cette unité vaut en mesure absolue $0,955 \times 10^9$ (soit 0,955 *Ohm*) ; les mesures d'intensité sont exprimées en unités chimiques correspondant à 9 milligrammes d'eau décomposée *par minute*, et valant par conséquent $\frac{9}{60 \times 0,937} = 0,1601$ puisque l'unité absolue de courant représente 0,937 milligrammes d'eau décomposée *par seconde*. Ces réductions

étant faites, le produit i^2R se trouve exprimé en unités absolues de travail dont la grandeur est à celle du kilogrammètre dans le rapport $1 : g \times 10^7$, g étant la valeur de la gravité en mètres.

Voici le tableau des résultats ainsi déduits des expériences de M. Hagenbach :

	I	II	III	IV
Vitesse de la mach. Gramme en tours par minute....	935	919,5	900,5	893
Valeur de R[1] en unités absolues de résistance	$2{,}435 \times 10^9$	$3{,}648 \times 10^9$	$4{,}718 \times 10^9$	$5{,}787 \times 10^9$
Valeur de i en unités absolues de courant	2,828	1,759	1,295	1,005
Valeur de i^2R en unités absolues de travail.......	$1948{,}6 \times 1_7$	$11292, \times 10^7$	$791{,}3 \times 10^7$	$584{,}9 \times 10^7$
Valeur de i^2R en kilogrammètres...............	198,6	115,1	80,66	59,62
Valeur de T en kilogrammètres...............	301,5	141,0	86,2	83,2
Rendement $\frac{i^2R}{T}$.........	65,9%	81,6%	93,5%	71,6%

Il y a entre les résultats de rendement des écarts assez notables. Mais il n'y a pas lieu de chercher à en expliquer l'origine parce que, d'après M. Hagenbach, ses essais dynamométriques n'étaient pas faits dans des conditions d'exactitude suffisante. Du reste il se servait pour les faire, du frein de Prony, et il est certain qu'il vaudrait mieux employer un dynamomètre enregistreur qui mesurât le travail dépensé pendant la marche même de l'appareil qui le consomme, plutôt qu'un frein qui mesure, avant ou après, le travail fourni par le moteur.

Nous avons pensé, malgré cela, qu'il serait utile de faire connaître ces résultats au moins à titre d'approximation.

[1] Ces valeurs de R comprennent $0{,}44 \times 10^9$ comme résistance du fil de la bobine tournante, et $0{,}59 \times 10^9$ comme résistance du fil entourant les électro-aimants inducteurs, en tout $1{,}03 \times 10^9$. Le surplus est constitué par le circuit extérieur.

L'effet utile d'une machine magnéto-électrique étant ainsi défini, abordons maintenant une question toute autre à laquelle un grand intérêt s'attache en ce moment : celle de l'efficacité de ces machines pour obtenir de la lumière. Cette efficacité dépend non seulement de l'effet utile qui en est un des facteurs, mais encore de plusieurs autres circonstances. Il y a ici deux cas à distinguer.

Le plus simple est celui de l'éclairage par simple *incandescence*. Dans le circuit est intercalé, sans solution de continuité, un conducteur d'une résistance propre r, en sorte que si on nomme R la résistance du reste du circuit, la chaleur totale dégagée par unité de temps est $A\,i^2\,(R+r)$, ou $A\,k\,T$, k étant le rendement défini plus haut. La portion de cette chaleur dégagée dans le conducteur est $A\,i^2 r = A\,k\,\frac{T\,r}{R+r}$, et si ce conducteur a une masse et une chaleur spécifique suffisamment faibles, sa température pourra s'élever assez pour qu'il devienne lumineux. Si on représente par f l'intensité lumineuse (exprimée par exemple en becs Carcel) correspondant à une unité de chaleur, la lumière obtenue sera $f\,A\,k\,T\frac{r}{R+r}$ et le quotient de cette quantité par le travail dépensé T, c'est-à-dire $f\,A\,k\,\frac{r}{R+r}$, sera le *rendement lumineux*.

Il va sans dire que f n'est point une constante : ce coëfficient augmente, et par conséquent le rendement lumineux augmente aussi, à mesure que la chaleur produit une température plus élevée, c'est-à-dire, toutes choses égales d'ailleurs, à mesure que le courant est plus intense. Il n'y a d'autre limite que la température à laquelle le conducteur fondrait.

Le second cas, plus complexe, est celui de l'éclairage électrique ordinaire, où le courant en franchissant l'intervalle entre deux électrodes conductrices situées en face l'une de l'autre (dans la pratique, ce sont des pointes de charbon préparées) forme ce qu'on nomme l'*arc voltaïque.*

Il faut tout d'abord rappeler comment le principe de l'équivalence des effets des forces se formule quand le courant électrique, au lieu de produire exclusivement de la chaleur, donne lieu à un effet mécanique sous une forme quelconque.

La machine possède une force électro-motrice qui varie avec la vitesse, mais qui pour une vitesse donnée a une valeur déterminée. Le travail effectif (c'est-à-dire le produit du travail brut par le rendement) est égal, tant que la vitesse ne varie pas, au produit de la force électromotrice correspondante E par l'intensité obtenue. Si donc on obtient un courant i avec la vitesse à laquelle E correspond, et que le seul effet produit soit la chaleur Q développée dans le circuit, on a :

$$k\,T = E\,i = \frac{Q}{A}$$

Mais si on applique le courant à produire un autre effet ayant pour équivalent mécanique W, la vitesse de la machine et la résistance demeurant ce qu'elles étaient, la chaleur développée dans le circuit diminue ainsi que l'intensité du courant et le travail dépensé ; on a alors :

$$k\,T' = E\,i' = \frac{Q'}{A} + W$$

En vertu des lois de Ohm et de Joule, Q' a pour valeur

$A\,E'i'$, E' étant la somme algébrique des forces électro-motrices agissant dans le circuit, et i' la nouvelle valeur de l'intensité. Ainsi :

$$k\,T = E'i' + W$$

on voit donc que E' n'est pas égal à E, mais plus petit, et que par conséquent il intervient une force électro-motrice $F = \frac{W}{i'}$ opposée à E et égale à l'excédant de E sur E'. On peut donc écrire :

$$k\,T = (E - F)\,i' + W$$

Voilà ce qui a lieu quand W représente le travail accompli par un électro-moteur, ou le travail chimique d'une électrolyse ; on sait que F est une force électro-motrice d'induction ou de polarisation, suivant le cas.

Si la production de l'arc voltaïque donne lieu à un travail mécanique quelconque, elle doit engendrer aussi une force électro-motrice contraire à celle du courant principal. Or, l'existence de cette force a été établie par M. Edlund [1], et le travail auquel il la rattache consiste dans l'arrachement des molécules enlevées aux électrodes par le courant, et servant à celui-ci de véhicule au travers de la solution de continuité que la production de l'arc suppose. La théorie que nous venons de rappeler sommairement est donc applicable à ce cas.

Comme on a :

$$F\,i' = W$$

[1] Voir les *Annales* de Poggendorff, tomes CXXXI, CXXXIII, CXXXIV et CXLIX. (*Archives*, t. XXXI et XXXII).

l'équation ci-dessus peut s'écrire :

$$k\,T = i'^2\,(R+r) + F\,i'$$

ou, comme le courant est réduit de i à i' par un courant opposé d'intensité $i_1 = i - i'$ déterminé par l'intervention de la force électro-motrice F,

$$k\,T = (i - i_1)^2 (R+r) + F\,(i - i_1)$$

Il est entendu que r désigne la résistance supplémentaire qui réside dans l'arc lui-même et qui serait supprimée si les électrodes se touchaient, et que l'intensité i est celle du courant qui se produirait si, en supprimant l'arc, on intercalait dans le circuit un fil de résistance égale de façon à avoir toujours $R+r$ pour résistance totale. Comme alors on a en vertu de la loi de Ohm :

$$i = \frac{E}{R+r} \quad \text{et} \quad i_1 = \frac{F}{R+r} \quad \text{d'où } i - i_1 = \frac{E-F}{R+r}$$

on peut écrire :

$$k\,T' = \frac{\mathrm{E}\,(E - F)}{R + r^2}$$

la chaleur qui se produit dans l'arc sera :

$$A\,(i - i_1)^2\,r = \frac{A\,(\mathrm{E} - F)^2 r}{(R+r)^2}$$

le rapport de cette chaleur au travail dépensé T' sera :

$$A\,k\left(1 - \frac{F}{E}\right)\frac{r}{R+r}$$

et, en représentant par f le coëfficient variable déjà défini, on aura pour rendement lumineux :

$$f\,A\,k\left(1-\frac{F}{E}\right)\frac{r}{R+r}$$

La masse dans laquelle la chaleur produite prend naissance, et dont la température est élevée par cette chaleur, se compose essentiellement des particules arrachées aux électrodes. La chaleur de l'arc est proportionnelle, toutes choses égales d'ailleurs, au carré de l'intensité du courant effectif $i-i_1=i'$; si la masse des molécules arrachées est constante, ou si tout au moins, ce qui est vraisemblable, elle croît moins rapidement que la chaleur de l'arc, la température de celui-ci et par conséquent le coéfficient f croîtront avec l'intensité du courant.

Il est évident, d'après ce qui a été dit plus haut, qu'on ne pourra produire un arc voltaïque qu'en obtenant de la machine employée une force électro-motrice supérieure à F, et la présence du facteur $1-\frac{F}{E}$ dans l'expression du rendement montre que celui-ci est d'autant plus élevé que l'écart de E sur F est plus grand. Il paraît résulter des travaux de M. Edlund que F n'est pas une constante, mais croît avec l'intensité du courant effectif tout en tendant vers une certaine limite ; cette limite serait l'équivalent de la force électro-motrice de vingt-un[1] éléments Bunsen environ, et l'on sait que la force électro-motrice d'un de ces éléments varie en mesure absolue de 1.63×10^8 à $2,00\times10^8$.

[1] Ce chiffre est applicable à des électrodes de charbon de cornue. Avec des électrodes de cuivre il serait de 18 éléments seulement.

Il faudrait évidemment pour compléter cette théorie connaître la loi qui lie F à $i - i_1$, et l'introduire dans le facteur $1 - \frac{F}{E}$.

En résumé, soit dans le cas de l'incandescence simple, soit dans le cas de l'arc voltaïque, le rendement lumineux dépend d'abord du rapport $\frac{r}{R + r}$ entre la résistance de la partie lumineuse du circuit et la résistance totale, et ensuite du coëfficient f qui, dépendant lui-même du rapport de la chaleur de la partie lumineuse du circuit à la masse de celle-ci, croîtra avec l'intensité du courant. Dans le cas de l'arc voltaïque, il dépend en outre du facteur $1 - \frac{F}{E}$ qui croît lui-même avec cette intensité.

On voit donc que pour obtenir la lumière il y a avantage à employer les courants les plus intenses, et par conséquent les machines les plus puissantes, comme l'expérience l'a amplement confirmé.

La nécessité d'avoir à surmonter la force électro-motrice F dans le cas de l'arc voltaïque semble indiquer que cette forme de lumière est celle qui se prête le moins à la subdivision. Il serait, à ce point de vue, utile de rechercher si cette force décroît indéfiniment avec l'intensité du courant ou si elle ne peut jamais descendre au-dessous d'un certain minimum.

RÉAPPARITION RÉCENTE

DE LA

COMÈTE A COURTE PÉRIODE DITE D'ENCKE

ET RÉSUMÉ RÉTROSPECTIF

DE L'HISTOIRE DE CET ASTRE

M. John Tebbutt, astronome à Windsor, dans la Nouvelle-Galles du Sud, a réussi, à l'aide de l'éphéméride de la comète d'Encke, publiée par M. le Dr Von Asten dans le n° 2197 des *Astron. Nachrichten*, à retrouver ce remarquable petit astre, dès le 3 août 1878. Il lui a paru comme une nébuleuse ronde, d'environ deux minutes de degré en diamètre, présentant une condensation graduelle vers son centre.

Il ne sera, je crois, pas inutile, à propos de cette réapparition, de rappeler sommairement aux amateurs d'astronomie les principaux traits de l'histoire de cette comète, qui, malgré sa petitesse, joue un rôle fort important dans notre système solaire. Je profiterai des détails sur ce sujet contenus dans l'intéressante biographie allemande de l'astronome Encke, publiée à Leipsic en 1869 par M. le professeur Bruhns, directeur de l'Observatoire de cette ville. J'y joindrai aussi un aperçu des travaux plus récents de M. d'Asten sur cet astre, extrait d'un compte rendu inséré à la suite du Rapport annuel de l'Observatoire de Poulkova, publié en juillet 1876 par M. Otto Struve.

La comète dont il s'agit avait été découverte le 26 novembre 1818 par Pons, simple concierge de l'Observatoire de Marseille, auquel on a du la première annonce de l'apparition d'un assez grand nombre d'astres de ce genre. Encke, qui était alors attaché, en qualité d'astronome, à l'Observatoire du Seeberg, près de Gotha, et qui s'était déjà familiarisé avec les calculs d'orbites de comètes, s'aperçut promptement qu'une orbite parabolique ne pouvait représenter suffisamment la marche de cette comète ; et, après divers essais, il constata qu'une ellipse, décrite en 3 ans $^1/_2$ environ, s'accordait beaucoup mieux avec les observations. Cette rapidité de période, inouïe jusqu'alors, et unique encore pour les comètes, pouvait faire présumer que cet astre avait déja été observé ; et Encke s'est assuré, en effet, que de petites comètes signalées en 1805, 1795 et 1786, étaient des apparitions plus anciennes du même astre, qui a son périhélie en dedans de l'orbite de Mercure, son aphélie en dedans de celle de Jupiter, et qui n'est pas visible dans une grande partie de sa révolution à cause de la faiblesse de sa lumière.

Ce rapprochement des planètes indiquait qu'il faudrait, dans les calculs relatifs à chacune des réapparitions de l'astre, tenir compte de l'effet des perturbations qu'il aurait éprouvées par l'action de ces corps célestes. Encke a, pendant de longues années, effectué ces pénibles calculs, et a pu annoncer alors, bien des mois à l'avance, les positions successives de la comète dans le ciel, à chacune de ses réapparitions, ou ce qu'on nomme son *éphéméride*.

La première application qu'il en ait faite a été le retour de sa comète dans l'automne de 1821. C'est à Paramatta, en Australie, dans l'Observatoire du général Brisbane, qu'elle a été retrouvée alors par Rümker, le 1er juin 1822,

dans une position ne différant que de 2 minutes de celle que lui assignait alors l'éphéméride.

L'examen de ce retour et des précédents manifesta à Encke un léger raccourcissement de durée d'environ 2 heures et $^2/_3$ de la révolution de la comète, indépendant de l'effet des perturbations, et dont il tint compte par une petite correction empirique, proportionnelle au carré du temps. Il attribua cette correction à l'action d'un milieu résistant existant dans l'espace céleste, assez rare pour n'avoir pas d'influence sensible sur la marche de gros corps solides tels que les planètes, mais pouvant en exercer une sur de très légers, tels que les comètes; et qui, en y produisant une très courte diminution du grand axe de l'ellipse, amenait ainsi une petite accélération du moyen mouvement. Un nouveau retour de la comète dans l'été de 1825 ne fit que confirmer les calculs de Encke, car Harding la retrouva le 26 juillet, dans une position qui ne différait que de 2',3 de celle de l'éphéméride.

M. Bruhns, dans la biographie citée plus haut, présente un extrait fort intéressant de la correspondance qui eut lieu entre Encke et les plus célèbres astronomes allemands de cette époque, tels que Gauss, Olbers, Bessel et Lindenau, sur sa découverte et ses travaux. Ce sont eux qui ont donné au petit astre le nom qu'il porte, tandis que Encke a continué modestement à l'appeler comète de Pons. On y voit qu'Olbers admet volontiers l'hypothèse d'un fluide résistant près du soleil, tandis que Bessel est disposé à regarder la petite accélération du mouvement de la comète comme tenant au développement de sa queue.

Il est facile de comprendre que les perturbations que subit une comète en se rapprochant d'une planète, tenant à la masse de cette planète, puissent servir à déterminer

cette masse; et c'est ce qui est arrivé en 1838 pour Mercure, lors du dixième des retours observés de la comète d'Encke. Ces deux corps célestes s'étant trouvés, le 23 août 1835, à une distance l'un de l'autre d'environ $^1/_8$ seulement de celle de la Terre au Soleil, M. Bremiker avait calculé, sous la direction de Encke, l'action perturbatrice de la planète sur la comète, en adoptant pour la masse de Mercure une valeur encore hypothétique. La comète se trouvait aussi alors plus rapprochée de la Terre qu'à l'ordinaire, ce qui rendait plus sensible l'effet de ces perturbations sur les positions géocentriques de la comète. La simple comparaison de l'éphéméride avec l'observation suffisait pour décider s'il existait quelque erreur notable dans la masse de Mercure adoptée. Or, c'est ce qui est arrivé, et l'Observatoire de Genève, d'après les observations de la comète qui y ont été faites par l'astronome-adjoint M. Muller, du 10 octobre au 20 novembre, a été l'un des premiers qui ait servi à constater, par les grandes différences qui ont eu lieu alors entre l'éphéméride et l'observation, que la valeur adoptée pour la masse de Mercure était notablement trop forte. On trouvera dans les numéros de la *Bibliothèque universelle* de cette époque plus de détails sur ce sujet. La comète a présenté, depuis la fin d'octobre, l'aspect d'une nébulosité un peu allongée, plus lumineuse vers un point intérieur, un peu excentrique. Le 14 novembre, son diamètre a été évalué par M. Wartmann à 9 minutes de degré. Plusieurs personnes l'ont distinguée à la vue simple, et l'ont trouvée plus lumineuse que la nébuleuse d'Andromède. Elle était encore visible à l'œil nu le 20 novembre, avec un diamètre de 8 minutes.

Depuis cette époque, M. Encke, établi à Berlin dès la

fin de 1825, comme directeur de l'Observatoire et secrétaire de l'Académie, continua ses travaux relatifs à sa comète, et en publia les résultats, soit dans le Recueil in-4° des mémoires de l'Académie, soit dans les *Astron. Nachrichten*. Il a persisté à tenir compte dans ses calculs de l'effet qu'il avait attribué à la résistance de l'éther, et l'astre est toujours revenu, au bout d'environ 3 ans $^1/_3$, à un petit nombre de minutes de degré près, aux positions que les éphémérides lui assignaient.

Il était naturel de penser qu'on trouverait pour d'autres comètes à courte période un effet analogue de résistance d'éther. M. le professeur Axel Möller, de Lund en Suède, s'est occupé, sous ce rapport, de la comète dite de Faye, dont la révolution autour du Soleil est de près de 7 $^1/_2$ ans : mais en poursuivant ses calculs, il a fini par constater que la loi de la gravitation universelle suffisait pour rendre raison de sa marche. Il est vrai que cette comète se trouve encore, lors de son passage au périhélie, à une distance du Soleil de plus d'une fois et demie (1,68) la distance moyenne de la Terre au Soleil, tandis que les passages au périhélie de la comète d'Encke s'effectuent au tiers (0,33) de cette même distance.

Dans les dernières années de sa belle carrière scientifique, terminée le 26 août 1865, Encke n'avait pu effectuer le calcul des perturbations planétaires que subissait sa comète, aussi complètement qu'il l'avait fait précédemment ; il se bornait aux principales, qui suffisaient pour que l'éphéméride, publiée à l'avance, permît de retrouver le petit astre.

Après sa mort, la Société astronomique allemande sentit l'importance de continuer les travaux relatifs à cette comète. M. le professeur Förster, directeur actuel de

l'Observatoire de Berlin, chargea le Dr Becker et M. d'Asten de reprendre le travail des perturbations planétaires subies par elle. C'est ce dernier savant, appelé au printemps de 1870 à la place d'astronome-adjoint dans l'Observatoire de Poulkova, qui a poursuivi ces recherches avec le plus d'énergie, jusqu'à sa mort prématurée, qui a eu lieu malheureusement dans l'été de 1878.

D'après le court exposé des travaux sur ce sujet rédigé par cet astronome, et inséré dans le dernier rapport de M. Otto Struve, M. d'Asten a repris les calculs complets des perturbations planétaires qu'a subies la comète d'Encke, à partir de 1848, ce qui a permis de les lier à ceux effectués, à partir de 1819, par M. Encke lui-même. Le résultat final de ce grand travail, c'est que le moyen mouvement de la comète, dans l'intervalle de 1819 à 1868, a subi, dans chacune des révolutions de l'astre, une accélération presque égale, dont la cause doit être attribuée à l'action d'un milieu résistant. Quant à l'intervalle entre les retours de 1868 et de 1871, l'effet d'accélération du moyen mouvement a été presque nul, ainsi que M. d'Asten l'a déjà annoncé à l'Académie de Pétersbourg le 21 mai 1874. Il présume qu'en 1869, la comète s'est tellement rapprochée de l'une des petites planètes, que l'action de celle-ci a pu exercer sur le moyen mouvement de celle-là une influence notable.

La discussion des réapparitions de la comète de 1819 à 1868 a aussi acheminé M. d'Asten à obtenir des valeurs plus exactes des masses de Mercure, de la Terre et de Jupiter, et il en est résulté que l'erreur moyenne des lieux normaux de position de la comète a été réduite à la moitié des valeurs trouvées par Encke.

La masse de Mercure obtenue par M. d'Asten n'est

que d'environ un sur $7^1/_2$ millions, en la rapportant à celle du soleil prise pour unité. Elle a été principalement déduite de l'apparition de 1848, où la comète s'est trouvée à une distance de Mercure qui n'était qu'environ $^1/_{28}$ (0,038) de celle de la Terre au Soleil.

La masse de la Terre, serait, d'après les calculs de M. d'Asten, de $^1/_{309634}$ de celle du soleil, et celle de Jupiter de $^1/_{1049,632}$.

M. d'Asten se proposait de continuer ses calculs relatifs à la comète d'Encke et d'y consacrer encore plusieurs années. Tout en déplorant qu'il n'ait pas pu les compléter, on peut espérer que la savante Allemagne, à laquelle on doit les grands travaux consacrés à cet astre, ne manquera pas de procurer des successeurs à MM. Encke et d'Asten.

L'histoire de cette comète est propre à faire voir que les petits astres ne sont pas toujours les moins importants, et que leur étude peut donner lieu à la solution de difficiles questions. La Lune en offre un autre exemple, bien plus remarquable encore.

La comète d'Encke n'a été retrouvée cette année qu'une dizaine de jours après son passage au périhélie, qui a eu lieu le 26 juillet. Sa distance à la Terre, d'après l'éphéméride de M. d'Asten, était alors d'environ 1,3 enprenant toujours pour unité celle de la Terre au Soleil. Elle s'est dès lors éloignée de ce dernier astre, en se rapprochant encore un peu de la Terre, jusqu'au 21 août, où elle n'en était plus qu'à la distance prise pour unité, tan-dis qu'elle était déjà relativement au Soleil à la distance de 0,72.

Une circonstance remarquable relative au petit astre, c'est que depuis 92 ans qu'on l'observe, il ait aussi peu perdu de sa lumière et de la matière nébuleuse qui le constitue. M. Tebbutt, dans l'annonce de sa réapparition

publiée n° 2222 des *Astron. Nachrichten*, dit avoir trouvé, avec une lunette de $4^1/_2$ pouces anglais d'ouverture, la comète plus brillante qu'il ne s'y serait attendu, vu sa situation basse, voisine de la lumière diffuse crépusculaire le long de l'horizon, et vu en outre la présence de la Lune.

Le n° 2229 du même Recueil contient une belle série d'observations de la comète d'Encke, faites à l'Observatoire de la République Argentine à Cordoba (Amérique du Sud), du 7 août au 6 septembre 1878, par M. John-M. Thorne, 1er adjoint de cet observatoire, et communiquées par M. le Dr Gould, qui en est le directeur. Cet astronome dit que la comète a paru presque circulaire, avec un léger accroissement de clarté vers son centre jusqu'au 26 août. Sa lumière, le 10 août, était comparable à celle d'une étoile de 8me grandeur; mais elle a diminué si vite, que, dans les dix derniers jours, il était difficile de la distinguer, quand elle était près des fils éclairés de la lunette.

La petite comète, dite de Brorsen, dont la période est de près de $5^1/_2$ années, doit aussi reparaître au printemps de 1879, et M. le professeur et Dr Schulze a publié dans le n° 2220 des *Ast. Nachr.* de nouveaux éléments et une éphéméride des positions dans le ciel de cet astre, jour par jour, du 19 février au 17 juin. Son passage au périhélie doit avoir lieu le 30 mars, et sa distance au Soleil sera alors d'environ 0,59 de celle du Soleil à la Terre. Sa grande déclinaison boréale et son rapprochement notable de la Terre vers le 10 mai, à 0,69 de la distance moyenne de la Terre au Soleil, la rendront, pour l'Europe septentrionale, plus favorable à observer qu'elle ne l'a été en 1868.

Alfred GAUTIER.

QUELQUES OBSERVATIONS

A PROPOS

DE LA MIGRATION DES CARPES

(Lettre adressée à M. Raoul PICTET par M. G. LUNEL.)

Certaines particularités des mœurs de la carpe sembleraient expliquer en quelque sorte le fait observé par M. Bartholony. Quoique préférant le séjour des étangs et des marais, les carpes vivent également dans les lacs, les fleuves et les rivières. Ces poissons se cantonnent en plus ou moins grand nombre, sur tel ou tel point qu'ils affectionnent plus particulièrement dans l'un ou l'autre de ces cours d'eau, et ils cherchent toujours à y revenir toutes les fois qu'une cause quelconque les a forcés à s'en éloigner.

A l'époque de la fraye qui a lieu ordinairement d'août à juin, quelque fois même en août, les carpes montrent une activité extraordinaire et vont à la recherche des eaux plus chaudes, plus tranquilles, et qui leur offrent des conditions de milieu favorables à leur reproduction ; tels que les étangs et les marais qui sont en communication plus ou moins directe avec les rivières et autres cours d'eau. Dans ces sortes de migrations ces cyprins bravent les obstacles, et à l'aide de leurs sauts, dits de carpe, franchissent parfois des chutes d'eau d'une hauteur relativement considérable.

D'après ces données ne pourrait-on pas supposer que les carpes observées par M. Bartholoni étaient des individus qui, sortis du lac, avaient pénétré dans l'étang pour y frayer, et que cet acte accompli et le moment venu, poussés par leur instinct, ils cherchaient à regagner leur cantonnement habituel, sans se laisser arrêter par l'espace privé d'eau qu'ils avaient à parcourir pour atteindre leur but. Cette dernière particularité n'a rien de bien extraordinaire pour qui connaît la ténacité vitale de la carpe, ténacité qui lui permet de vivre plusieurs heures hors de l'eau; elle doit cette faculté à la large membrane qui borde son opercule, laquelle s'appliquant sur les branchies, y conserve l'humidité, et par conséquent les empêche de se dessécher. Il est hors de doute que dans de semblables conditions, les carpes de Coudré, à l'aide de leurs sauts répétés, auraient eu le temps de franchir la distance qui les séparait du lac.

Quant à ces manœuvres exécutées simultanément par plusieurs individus, il n'y a rien là qui puisse surprendre et il suffit de se rappeler ce qui se passe chez d'autres espèces de poissons, notamment chez les perchettes qui vont par bandes, suivant aveuglément une des leurs un peu plus grosse et quelquefois même un individu d'une autre espèce, un goujon par exemple, qui nage à la tête de la bande; aussi les pêcheurs ont-ils mis à profit la confiance de ces poissons en leur chef, pour attirer toute la troupe dans leurs filets : ils se servent à cet effet, d'un simple morceau de métal brillant attaché à une ficelle qu'ils traînent au fond de l'eau dans la direction du filet en lui imprimant des mouvements qui lui donnent l'apparence d'un poisson vivant. Quoiqu'il en soit, cette migration de carpes pourrait encore faire supposer que

c'était simplement le retour au lac d'individus qui avaient l'habitude par certain temps et à certaines heures, de pénétrer dans l'étang pour y trouver, soit une eau à température plus élevée, soit une nourriture plus abondante. Enfin ne serions-nous pas là encore en présence de l'un de ces mystères de la nature que la science n'a pu pénétrer et que de nouvelles observations nous révèleront peut-être un jour? G. L.

L'OPHITE D'ESPAGNE

PAR

M. CALDÉRON

L'ophite, regardée généralement comme une roche caractéristique des Pyrénées, est aussi fort développée en Espagne et joue un rôle considérable dans la structure géologique de cette péninsule. Elle a été l'objet, depuis peu d'années, d'actives recherches dont nous désirons exposer ici les résultats et qui ont été en grande partie publiées avec de nombreuses figures par la Société espagnole d'histoire naturelle.

Hors de la région pyrénéenne, où elle a été décrite par Palassou, de Charpentier [1], M. Zirkel [2], etc., cette roche se trouve à la frontière limitrophe des provinces d'Alava, Logrono et Burgos, dans quelques parties de la Catalogne [3], aux environs de San Felipe de Jativa et d'Orihuela à l'est, et dans la province de Cadix au midi, où M. Mac-Pherson a reconnu sa grande extension [4].

Quelle est l'âge de cette roche ? Les uns la considèrent comme triasique, les autres comme plus récente. Les principales éruptions en ont eu lieu, en effet, à la pre-

[1] Essai géognostique sur les Pyrénées, 1860.

[2] Beitræge zur geol. Kenntniss der Pyrenäen. *Zeitschr. der deutsch. geol. Gesellsch.*, 1867.

[3] Geol. de la prov. de Lerida. *Bol. de la Com. del Mapa geol. de Espana*, 1875, II.

[4] Sobre las rocas erupt. de la prov. de Cadix. *An. de la Soc. esp. de Hist. nat.*, 1876, v.

mière de ces époques, mais on en trouve aussi qui datent des périodes crétacée et tertiaire [1]. Dans la province de Santander, une d'elles a soulevé et redressé les roches crétacées à une grande hauteur.

Partout où elle a apparu, elle a transformé les roches qu'elle a traversées en roches d'aspect triasique.

M. Mac Pherson a parfaitement démontré la formation de ces phénomènes épigéniques [2], qui ont contribué en bonne partie à donner à l'Andalousie son caractère géologique. Le gypse accompagne en effet constamment les éruptions d'ophite et il est le produit du métamorphisme des calcaires triasiques dans le district de Molledo [3], des calcaires crétacés dans celui de Trasmiera et des calcaires tertiaires dans les provinces d'Alava et de Cadix. Quelquefois de la pyrite est associée au gypse, ce qui prouve que ce métamorphisme est dû aux émanations sulfhydriques, comme dans les solfatares modernes. Souvent le gypse est accompagné d'argiles irisées, de sel, fort abondant dans les salines d'Anana, et de fer hématite. Les célèbres gisements de fer de Camargo, dans la province de Santander, sont dans le voisinage de l'éruption de Trasmiera.

La nature minéralogique de l'ophite a été étudiée avec le plus grand soin par les géologues espagnols. Les éléments principaux en sont le pyroxène et le feldspath triclinique à base de chaux ; on les retrouve dans les ophites de Guipuzcoa, étudiées par M. Adan de Yarza [4], comme

[1] Caldéron, Res. geol. de la prov. de Alava, 1874. — Idem. Ofita de Trasmiera. *An. Soc. esp. de Hist. nat.*, 1870, VII.

[2] Bosquejo geol. de la prov. de Cadix, Madrid, 1873.

[3] Caldéron et Quiroga. Erupcion ofitica del Ayuntamento de Molledo. *An. Soc. esp. de Hist. nat.*, 1877, VI.

[4] Roca eruptiva de Matrico. *An. de la Soc. esp. de Hist. nat.*, 1878, VII.

dans celle de Santander que nous avons examinées avec M. Quiroga, et dans celles de Cadix dont la connaissance est due à M. Mac Pherson ; mais ces deux éléments ne suffisent pas pour caractériser l'ophite. Il en existe, en effet, dans cette dernière province, des variétés compactes et vitreuses qui, d'après cet auteur, se rapprochent des basaltes; dans la même province et dans les Pyrénées, d'autres variétés, où le pyroxène a été transformé en amphibole, ont de l'affinité avec des diorites ; dans d'autres encore, dans la province de Huesca, ce minéral passe à l'épidote. Toutes ces roches constituent une série continue, dont un des termes est caractérisé par la nature diallagique. Parfois aussi le pyroxène se transforme en silicates magnésiens qui se rapprochent de ceux de la serpentine [1].

Les éléments accessoires sont la matière felsitique, qui est plus ou moins abondante, et la magnétite, produit de l'altération du pyroxène et l'hématite. Nous avons trouvé, dans un échantillon de Casarès (Santander) le quartz, comme dans les porphyres quartzifères; peut-être ce résidu acide est-il un excédant de la constitution des silicates; on y observe deux sortes de contenu, dont l'un est fluide ; dans une vacuole, longue de $0^m,0095$ et large de $0^m,0071$, nous avons vu une bulle mobile, et un cristal cubique de sel commun [2].

L'étude microscopique de ces roches montre que le pyroxène est dispersé en grains sans aucun ordre au milieu de la masse feldspathique. Nous croyons que l'origine de l'ophite est due à l'empâtement d'une roche clas-

[1] Mac Pherson. Ophite de Molledo. Voy. les planches.

[2] Voyez le dessin donné dans notre monographie de l'ophite de Molledo.

tique pyroxénique par la matière pétrosiliceuse; plus tard, les éléments feldspathiques se sont groupés en rejetant les grains pyroxéniques; la transformation de ceux-ci est due à des actions chimiques agissant d'une manière lente et graduelle.

Les ophites des Pyrénées se rapprochent des diorites, mais celles de Santander, de Guipuzcoa et de Cadix ont plus d'affinité avec les basaltes et constituent un groupe très distinct que M. Mac Pherson a nommé ophites cristallines de couleur vert clair. Il est possible que ces deux sortes de roches soient d'âge différent et que la dernière soit d'époque tertiaire.

Le même auteur a fait des recherches intéressantes sur deux ophites qui se voient entre Biarritz et St-Jean de Luz; elles sont toutes deux entièrement cristallines; mais l'une, qui a apparu au sud de Biarritz, dans le terrain nummulitique, est essentiellement amphibolique, riche en épidote et pauvre en pyroxène qui se transforme en amphibole; l'autre, au contraire, voisine d'Anglet, est essentiellement pyroxénique et pauvre en épidote. Il les considère comme les deux extrémités d'une même série dont celle de Cadix et de Santander seraient les termes intermédiaires et il termine son mémoire en disant que les roches pyroxéniques forment la masse primitive d'où les roches dioritiques, qui sont si abondantes au pied de toute la chaîne pyrénéenne, sont dérivées par des procédés semblables à celui de la formation des porphyres ouraliques.

L'altération étudiée par M. Zirkel, M. Stuart-Murteath [1], M. de Quiroga et nous-même, par suite de laquelle les masses éruptives ophitiques sont constituées

[1] Geol superf. des environs de Biarritz et de Bidart, 1878.

extérieurement par des boules disséminées dans l'argile, est un phénomène caractéristique de cette roche. En cassant une de ces boules ophitiques, on voit qu'elle est formée de couches concentriques dont la plus extérieure est transformée en argile; les suivantes ont un aspect pseudo-porphyrique et le noyau central est plus cristallin.

Les ophites ont généralement été rapportées aux diorites, ce qui est l'opinion de M. Zirkel. C'est aux géologues espagnols, et principalement à M. Mac Pherson que l'on doit d'avoir reconnu que ces roches, voisines d'un côté des diorites, ont de l'autre beaucoup d'affinité avec les basaltes auxquelles elles sont liées par toute une série d'intermédiaires qui rapprochent ces deux groupes si différents en apparence.

Les ophites sont donc une roche importante qui mérite de constituer un groupe à part bien caractérisé minéralogiquement et géologiquement. C'est ainsi que M. Rosenbuch l'a considéré dans sa Pétrographie.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

PHYSIQUE.

W. SPRING. — NOTE PRÉLIMINAIRE SUR LA PROPRIÉTÉ QUE POSSÈDENT LES FRAGMENTS DES CORPS SOLIDES DE SE SOUDER PAR L'ACTION DE LA PRESSION. (*Bulletin de l'Académie roy. de Belgique,* 2me série, t. XLV, nº 6.)

M. Spring a communiqué récemment à l'Académie de Belgique les résultats auxquels il est arrivé en soumettant à une pression très considérable la poudre fine de quelques corps solides. Nous tenons à reproduire ici quelques fragments de son travail :

« J'ai pu déterminer, dit-il, la soudure complète des particules des corps que j'ai expérimentés jusqu'à présent, au point d'obtenir des blocs homogènes, plus durs et plus résistants qu'ils ne l'eussent été s'ils avaient été produits par fusion : deux d'entre eux sont même sortis translucides de la compression et ne présentent plus le moindre vestige des particules qui se sont réunies pour les former.

« Ces résultats me paraissent présenter un certain intérêt non seulement au point de vue général de l'étude de la cohésion des corps, mais aussi au point de vue plus spécial de la formation de ces masses, solides, immenses qui composent l'écorce terrestre. Les géologues sont d'accord, en effet, pour dire que toutes les roches dites neptuniennes, aussi bien celles qui présentent actuellement la plus grande dureté que les plus friables, proviennent des dépôts marins, fluviatiles ou geysériens, meubles à l'époque de leur formation et qui se sont agglomérés dans la suite des temps. Quant à la question de savoir comment cette agglomération s'est

faite, il faut reconnaître que l'on ne possède à cet égard que peu ou point de données positives.

« Le compresseur dont je me suis servi se compose d'un prisme à base carrée, en acier, de 0m,04 de large et 0m,12 de haut, dans l'axe duquel on a foré un trou de 0m,008 de diamètre.

« C'est dans ce trou que l'on emprisonne la poudre à comprimer : à cet effet l'une des extrémités du trou se ferme au moyen d'un petit cylindre en acier de 0,010 de long, maintenu en place par une forte vis tournant dans un écrou large taillé dans l'extrémité du prisme.

« Par-dessus la poudre on laisse descendre une série de petits pistons en acier fondu de premier choix, jusqu'à ce que l'un d'eux dépasse l'orifice supérieur du trou du prisme. Cette extrémité du prisme présente un épaulement cylindrique fileté et s'engageant dans un chapeau-écrou d'une grande puissance qui a pour objet d'enfoncer, par sa rotation, les pistons dans le cylindre. La tête du chapeau-écrou est carrée et pénètre dans une clef en fer de 1m,50 de long.

« Le pas de la vis est de 0m,003: la clef ayant d'autre part 1m,50, on peut calculer facilement la pression exercée sur l'unité de surface de la poudre que l'on comprime en admettant que l'effort exercé à l'extrémité de la clef soit de 50 kilogrammes, effort qu'un homme peut commodément faire. On arrive ainsi à la pression colossale de 39,500 atmosphères, soit en nombre rond 40,000. Il est clair que ce nombre ne représente pas la pression effective supportée par la poudre dans le compresseur, puisque, dans le calcul, je n'ai pas tenu compte de la perte de travail due au frottement des pièces de l'appareil pendant la compression. Ce frottement doit être énorme; je ne possède malheureusement pas de données pour le déterminer; cependant, si l'on admet même qu'il absorbe 50 p. % de la quantité de travail effectué, il reste encore environ 20,000 atmosphères de pression disponibles.

« J'ai comprimé en premier lieu du nitrate de potassium pur, fondu et pulvérisé dans un mortier en porcelaine. La poudre était fine, mais non impalpable. . . . .

Le petit bloc sorti de l'appareil présentait une masse ho-

mogène, translucide comme de la porcelaine, beaucoup plus dure, plus résistante à la cassure et plus transparente qu'une portion du même nitrate obtenue par fusion. En un mot, toute trace de particules avait disparu, le corps paraissait avoir été fondu. Sa densité, déterminée à 24°, a été trouvée égale à 2,008; celle du nitrate de potassium fondu est à la même température, 1,991; il y a donc une augmentation notable, ce qui était à prévoir du reste.

« En deuxième lieu, j'ai comprimé du nitrate de sodium.

« Le sel employé n'était pas parfaitement pur, il renfermait une petite quantité de chlorure de sodium.

« L'agglomération de la poudre de ce sel a été parfaite. .

« Le nitrate de sodium comprimé se présente sous forme de masse semblable à de la porcelaine, très dure, plus solide que le nitrate fondu. Sa densité était de 2,198 à 24° : celle du nitrate fondu est 2,195. L'augmentation de la densité est donc loin d'avoir été aussi considérable que pour le nitrate de potassium; j'attribue ce fait à la soudure des pistons aux parois de l'appareil, circonstance qui a dû empêcher la pression de se transmettre intégralement au sel. . . . . .

« En troisième lieu, j'ai soumis de la sciure de bois de peuplier à la compression. . . . .

« La sciure de bois blanc s'agglomère de manière à former, elle aussi, un bloc plus dur que le bois qui l'a fournie. La structure du bloc obtenu est intéressante à observer. Elle n'est pas homogène : ainsi, dans une direction perpendiculaire à l'axe du cylindre, c'est-à-dire à la direction de la pression, on peut casser le bloc assez aisément, mais dans toute autre direction on ne peut rompre, à la main, des morceaux qui n'ont même que 2 millimètres d'épaisseur. La texture du bloc est donc schistoïde, elle présente des feuillets perpendiculaires au sens de la pression. . . . .

« La densité de ce morceau de bois est énorme : je l'ai trouvée égale à 1,328, le bois lui-même, non comprimé, n'en donne qu'une exprimée par 0,389. Jeté dans l'eau, il tombe au fond de celle-ci, puis, après un certain temps, il se gonfle, pousse dans le sens de la compression et se désagrège : les fragments conservent une densité supérieure à celle de l'eau. Cette désagrégation montre qu'ici on n'a pas affaire à une

soudure parfaite du bois, mais seulement à un commencement de liaison. . . . .

« Enfin, j'ai comprimé également la poussière séchée provenant de l'usure d'une meule à aiguiser.

« Sous forte pression, cette poudre se lie au point que j'ai pu faire sortir de l'appareil le bloc obtenu sans le briser. Cependant la masse obtenue était loin d'être aussi dure que la meule d'où elle provenait, on pouvait la casser facilement, elle était friable.

« J'ai obtenu les mêmes résultats en comprimant de la craie sénonienne en poudre sèche : la masse obtenue était cohérente au point qu'on pouvait s'en servir pour écrire, mais elle était encore friable.

« La raison de l'imperfection de la cohésion dans ces deux derniers cas pouvaient se trouver ou bien dans la faiblesse de la pression, ou bien dans le peu de durée de celle-ci, ou bien encore dans ce fait que le contact parfait entre les particules solides aurait été empêché par la présence de l'air qui reste adhérent aux poudres avec une ténacité extraordinaire. »

Pour élucider cette dernière question, M. Spring avait commencé des essais sur des poudres imbibées d'eau, mais un accident survenu à son appareil l'a empêché jusqu'ici de les mener à bien.

« Ces premières expériences, dit-il en terminant, mettent hors de doute, je crois, la possibilité de déterminer la cohésion des parties solides des corps sous l'influence de la pression. Mais je pense que ces résultats ne pourront présenter une valeur générale que lorsqu'un nombre suffisant de corps de nature chimique et physique différente auront été examinés sous ce rapport. Je me propose d'expérimenter d'une façon méthodique des corps appartenant à toutes les espèces chimiques; j'arriverai, ainsi, à passer en revue les matières composant les roches naturelles. Je vérifierai également si certains corps ne réagissent pas chimiquement à l'état solide l'un sur l'autre, sous l'influeuce d'une forte pression.

« L'appareil dont je me servirai dans la suite sera construit d'après d'autres vues que celui que j'ai employé jusqu'à pré-

sent, pour éliminer les inconvénients que j'ai pu constater maintenant. »

CHIMIE.

VICTOR MEYER. — SUR LA DÉTERMINATION DES DENSITÉS DE VAPEUR. (*Berichte*, de Berlin, XI, p. 1867. Zurich.)

L'auteur a eu principalement en vue une méthode simple et prompte permettant de déterminer les densités de vapeur des substances qui attaquent le mercure de Wood, dont il s'était servi dans une méthode décrite récemment.

Il utilise dans ce but le même principe qu'Hofmann a décrit, page 1684 du XIe volume des *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft.* — L'appareil se compose d'une grosse ampoule de verre terminée par un tube plus étroit se fermant par un bouchon jusqu'à un trait marqué de façon à ce que le volume intérieur soit toujours le même. L'appareil est placé verticalement dans un bain pouvant s'échauffer à une température suffisante. A mi-hauteur du tube vient se souder une sorte de tube de dégagement destiné à emmener et à conduire dans un tube gradué l'air dilaté par la chaleur du bain. — On commence par chauffer tout l'appareil jusqu'à ce qu'il ne sorte plus d'air, puis on introduit rapidement la substance préalablement pesée en ôtant et remettant aussi vite que possible le bouchon ; celle-ci se volatilise et fait sortir une nouvelle quantité d'air que l'on reçoit dans un tube gradué et que l'on mesure. La méthode a cet avantage qu'il est inutile de connaître le volume du vase ni la température du bain, on peut donc opérer avec un bain quelconque pourvu qu'il donne une température suffisante à la volatilisation de la substance. — Cette méthode ne donne pas naturellement des résultats absolument exacts; mais ils sont très suffisants pour la plupart des recherches chimiques comme le montre une série d'exemples cités par l'auteur dans son travail.

Victor Meyer. — Sur la présence du furfurol dans l'acide acétique cristallisable du commerce. (*Berichte*, de Berlin, XI, p. 1870. Zurich.)

L'auteur a constaté que l'acide acétique cristallisable du commerce qui paraissait parfaitement pur donnait avec l'aniline une coloration rouge très marquée. Il a reconnu que cela tenait à la présence d'une petite quantité du furfurol environ 0,108 grammes par litre.

Lunge. — Sur l'emploi de la tropæoline dans l'alcalimétrie. (*Berichte*, de Berlin, XI, page 1944.)

L'auteur a confirmé et étendu les recherches de W. von Miller (*Berichte*, de Berlin, XI, 460) sur l'emploi de la tropæoline dans l'alcalimétrie; il a employé la méthode au titrage du sulfure de sodium. — Il a, de plus, constaté que d'autres matières colorantes peuvent recevoir les mêmes applications, en particulier l'orangé III de Poirier, l'amidobenzol, etc.

Barbieri. — Méthodes pour retirer l'albumine des grains. (*Berichte*, de Berlin, XI, page 1945.)

L'auteur a étudié à un point de vue comparatif les méthodes de Weyl et de Ritthausen pour retirer l'albumine des grains. Toutes deux donnent de bons résultats; il semble cependant donner la préférence à la dernière, qui permet de séparer la vitelline de la myosine.

ZOOLOGIE.

Agassiz (Alex.). — On the young stages of osseous fishes. Developpement des poissons osseux. II. Development of the flounders, in 8°, avec 8 pl. (*Proceed. Amer. Acad. of Arts and Sciences*, vol. XIV, Cambridge, 1878). — Le même. — The Development of Lepidosteus, Part. I, 8°, avec 5 pl. (*Proc. Am. Acad.*, vol. XIV, 1878.)

M. Agassiz nous avait déjà fait connaître quelques-uns de

résultats intéressants, auxquels il était arrivé par l'étude du développement des poissons osseux[1]. Dans ce second mémoire il traite uniquement du développement des Pleuronectides qu'il a pu observer sur huit espèces différentes. La partie la plus importante de son travail est celle qui se rapporte au passage de l'un des yeux d'un côté de la tête à l'autre.

Au moment de sa sortie de l'œuf le jeune Pleuronecte n'offre aucun caractère spécial qui le différencie des embryons d'autres poissons osseux. Ce n'est pas avant qu'il ait une longueur de $^3/_8$ pouce ($9^{mm},5$) qu'on commence à apercevoir les premiers indices d'une déformation de la symétrie faciale. Ils consistent en un léger avancement de l'œil gauche comparé au droit si l'on a affaire à une espèce *dextre*, c'est-à-dire chez laquelle les deux yeux doivent plus tard se trouver du côté droit, et par un avancement de l'œil droit si l'on observe une espèce *sénestre*, c'est-à-dire qui soit destinée à avoir plus tard les deux yeux du côté gauche. En même temps qu'un des yeux se rapproche ainsi du nez et que son axe cesse de faire un angle droit avec l'axe longitudinal du corps, il subit un léger mouvement de rotation, de manière à se porter à un niveau un peu plus élevé que l'autre. A mesure que le jeune poisson se développe, cet œil appartenant au côté qui doit devenir aveugle et blanc monte toujours plus haut vers la ligne médiane longitudinale de la tête. Bientôt, en regardant le poisson du côté opposé, on voit le globe de l'œil faire son apparition au-dessus de l'arête supérieure de la tête et montrer une partie de plus en plus grande de sa surface au-dessus de cette arête. Cette marche se continuant toujours, il a bientôt réellement passé d'un des côtés à l'autre.

Ainsi, le transfert de l'un des yeux au côté opposé de la tête a lieu après que le poisson est sorti de l'œuf, mais à un âge peu avancé, lorsque tous les os de la face sont encore cartilagineux, et il résulte d'un mouvement combiné de trans-

[1] Voyez: *Archives* 1878, tome LXI, p. 368.

lation et de rotation. Ce n'est que plus tard, après que cette migration de l'œil a eu lieu, que la nageoire dorsale s'étend le long de la ligne médiane de la tête jusque vers les narines, de sorte que dans les individus adultes elle dépasse le niveau des yeux.

M. Agassiz ayant obtenu de jeunes individus du genre *Plagusia* a vu que chez des échantillons de plus d'un pouce de longueur les yeux étaient encore tout à fait symétriques quoique la nageoire dorsale s'avançât presque jusqu'aux narines, c'est-à-dire bien en avant de l'aplomb des yeux. Comme ces jeunes animaux étaient d'une transparence parfaite, comparable seulement à celle de certains invertébrés, il supposa d'abord avoir rencontré un type dont les yeux restaient symétriques, mais chez lequel la transparence du corps permettait la vision au travers des tissus, cette vision pouvant être encore facilitée par la faculté remarquable qu'ont les Pleuronectes de mouvoir leurs yeux dans des directions qui varient entre elles de 180°. Bientôt, cependant, il vit que l'œil droit s'était porté un peu en avant. Graduellement cet œil monta de plus en plus au-dessus du gauche, dans une direction un peu oblique, du côté du 5me ou du 6me rayon de la dorsale. La marche de cet œil avait lieu ici, comme chez les autres Pleuronectides, par un mouvement de translation accompagné d'un mouvement de rotation par-dessus l'os frontal.

Lorsque l'œil droit s'est approché de la base de la dorsale, on remarque qu'il s'est enfoncé profondément dans les tissus à la base de la dorsale, entre cette nageoire et le frontal, et que son orifice orbitaire s'est réduit à une petite ouverture circulaire. En même temps, comme il continue à se frayer un passage au travers des tissus, on voit apparaître du côté gauche un nouvel orifice par lequel cet œil communique avec l'extérieur. Il se présente ainsi une phase transitoire, pendant laquelle on peut constater l'existence de trois orbites, dont deux à gauche et un à droite : 1° celui de l'œil gauche ; 2° un petit, du même côté, pour l'œil qui était originairement le

droit; 3° un petit, du côté droit, formé par la persistance partielle de l'orbite primitif de ce côté. C'est ce stade que Steenstrup[1] a figuré exactement dans le n° 2 de sa planche, mais qu'il définit à tort: « oculo dextro *cranium* penetrante. »

Enfin, l'orbite primitif de l'œil droit s'oblitère complètement, son nouvel orbite se développe davantage et la position des deux yeux est définitivement fixée à gauche.

Ces observations montrent que les assertions de Steenstrup relatives au développement des Plagusia avaient pour elles certaines apparences. Mais, en réalité, la différence entre le développement de cette espèce et celui des autres Pleuronectides n'est pas grande. En effet, si la dorsale des Plagusia s'avançait un peu moins loin en avant, le passage de l'œil s'effectuerait de la même manière que chez les autres formes du groupe en question. La résorption qui se fait à la base de la partie antérieure de la dorsale est intéressante, mais elle n'a pas une grande importance et l'œil ne traverse pas plus le crâne dans ce cas que dans les autres.

Outre ces recherches sur la torsion des yeux, on trouve dans le mémoire de M. Agassiz quelques observations et quelques considérations sur les cellules de pigment des jeunes Pleuronectides.

Jusqu'à présent l'on n'avait pas réussi à observer le développement du Lépidostée. M. Agassiz est enfin parvenu, avec l'aide de quelques personnes et en particulier de M. S.-W. Garman, à obtenir des renseignements sur l'époque du frai de ce poisson et à se procurer des œufs fécondés.

Son mémoire ne contient pas, à proprement parler, l'embryogénie du Lépidostée, parce que la crainte de contrarier le développement des œufs qu'il s'était procurés à grand peine l'empêcha d'en faire une étude complète. Il se borne provisoirement à décrire le développement du jeune après l'éclosion.

[1] *Oversigt over d. K. D. Vid. Selsk. Forhandl.* nov. 1863, p. 146, Kjöbenhavn, 1864.

Au moment où il sort de l'œuf le Lépidostée ne présente dans sa partie postérieure rien qui le distingue d'un embryon de Téléostéen, sauf les grandes dimensions de sa corde dorsale. La partie antérieure du corps a, par contre, une apparence très remarquable. La cavité buccale est fort grande et s'étend presque jusqu'à l'ouverture branchiale; en avant d'elle est une protubérance bordée d'une rangée de saillies jouant le rôle de ventouses. Cet organe d'adhérence sert au jeune poisson à se fixer assez solidement aux corps étrangers.

Avec les progrés du développement on voit d'abord le museau s'allonger; le disque de succion devient encore plus saillant et il arrive à former un fort groin renflé terminant la mâchoire supérieure qui est encore assez courte. Mais plus tard, avec l'allongement de plus en plus marqué des mâchoires, il subit un développement rétrograde; les ventouses se concentrent et les dimensions de ce disque diminuent graduellement. Il ne forme bientôt qu'un renflement de l'extrémité de la longue mâchoire supérieure et est garni d'un rang de petites ventouses. Chez l'adulte tout organe de succion a disparu et il ne reste plus qu'un renflement globuleux charnu de la mâchoire supérieure.

A part l'existence de ce singulier organe transitoire, le Lépidostée ne présente pas, — du moins après sa sortie de l'œuf, — de caractères bien spéciaux. Sauf une ressemblance avec les Esturgeons (?) dans certaines phases de son développement, sauf quelques affinités avec les Requins et les Raies tenant à la manière dont se forment les pectorales et au mode d'accroissement de l'ouverture branchiale et des arcs branchiaux, le Lépidostée ne s'éloigne guère des poissons osseux. Il s'en rapproche au contraire par le développement de l'extrémité postérieure, par le mode de formation des nageoires impaires, par celui des ventrales, et aussi par celui des rayons des nageoires.

Outre les cellules pigmentaires semblables à celles des poissons osseux, on voit apparaître chez lui des cellules qui

offrent un éclat d'un blanc argenté et sont certainement les premières traces de l'émail qui forme l'armure de l'adulte.

A. H.

BOTANIQUE.

MEEHAN. — THE NATIVE FLOWERS AND FERNS. FLEURS ET FOUGÈRES; in-4°; vol. 1, part. 1-16 (Boston 1878).

Le nombre des planches botaniques relatives aux espèces du nord de l'Amérique n'est pas à comparer avec celui des espèces européennes. On comprend le désir des Américains d'avoir une série de figures des plantes de leur pays. Dans ce but M. Meehan commence une publication qui doit avoir deux volumes pour une première série de 106 planches. Elles sont coloriées en chromolithographie d'une manière plus délicate que ce procédé ne le donne communement. Il y a peu d'analyses des fleurs. C'est un ouvrage destiné au public en général. On a visé surtout à donner des figures au moyen desquelles on puisse reconnaître facilement les espèces. La réussite est si complète, sous ce rapport, que les botanistes eux-mêmes seront contents. D'ailleurs le texte renferme des détails de physiologie et des informations sur l'emploi de quelques espèces qui complètent les flores scientifiques des États-Unis.

ERRATA

Page 257, ligne 2 en remontant, au lieu de : $[\psi'(\alpha)]^2$, lisez : $[\psi'(\alpha)]^3$ aux deux nominateurs.

Page 258, ligne 3 en descendant, même faute que précédemment, au lieu de : $[\psi'(\alpha)]^2$, lisez : $[\psi'(\alpha)]^3$.

Page 259, ligne 3 en descendant, au lieu de : $\nu^2\,\psi'(\alpha)$ qui se trouve dans les crochets, lisez : $3\,\nu^2$.

Page 259, ligne 4, au lieu de : $-\frac{\nu^2}{2} + \nu^2\psi'(\alpha)$, lisez : $+\frac{5\,\nu^2}{2}$

Page 259, ligne 8, au lieu de : $\nu^2\psi'(\alpha) - \frac{\nu^2}{2}$, lisez : $\frac{5\,\nu^2}{2}$

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

sous la direction de

M. le prof. E. PLANTAMOUR

PENDANT LE MOIS DE NOVEMBRE 1878.

Le 1er, brouillard le matin jusqu'à 11 h.
2, neige dans la nuit et le matin à 6 h.; hauteur de la couche 27mm.
4, gelée blanche le matin; hâlo lunaire toute la soirée.
5, pluie et neige depuis 1 h. après midi; hauteur de la couche 25mm.
7, neige dans la nuit; hauteur de la couche 22mm.
8, gelée blanche le matin; depuis 7 h. du soir, pendant toute la nuit et jusqu'au lendemain matin à 7 h., vent violent du SSO.
10, gelée blanche le matin.
11, pluie abondante, par un fort vent du SSO., tout le jour.
13, forte gelée le matin; le soir et la nuit suivante vent violent du SSO.
15, vent violent du SSO. dans la nuit du 14 au 15, et dans la matinée du 15.
19, assez forte bise presque tout le jour.
20, assez forte bise depuis midi jusqu'au soir.
26, brouillard une grande partie de la journée.
27, brouillard jusqu'à 1 h. après midi.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM.

	mm
Le 3 à 8 h. soir	727,71
9 à 10 h. soir	735,06
20 à 8 h. matin	728,31
23 à 10 h. matin	728,73
30 à 10 h. matin	725,89

MINIMUM.

	mm
Le 2 à 6 h. matin	722,82
5 à 2 h. après midi	715,74
13 à 6 h. soir	710,86
21 à 6 h. matin	723,02
27 à 4 h. après midi	713,95

Jours du mois.	Baromètre. Hauteur moy. des 24 h.	Baromètre. Écart avec la hauteur normale.	Température C. Moyenne des 24 heures	Température C. Écart avec la temp. normale	Température C. Minim.	Température C. Maxim.	Tension de la vap. Moy. des 24 h.	Tension de la vap. Écart avec la tension normale.	Fract. de saturation en millièmes Moy. des 24 h.	Fract. de saturation Écart avec la fraction norm.	Fract. de saturation Minim.	Fract. de saturation Maxim.	Pluie ou neige Eau tomb. d. les 24 h.	Pluie ou neige Nomb. d'h.	Vent dominant.	Clarté moy. du Ciel.	Temp. du Rhône Midi.	Temp. du Rhône Écart avec la temp. normale.	Limnimètre à 11 h.
	millim.	millim.	o	o	o	o	millim.	millim.					mm.				o	o	cm
1	725,45	— 0,71	+ 1,68	— 5,29	— 1,6	+ 6,9	4,75	—1,61	914	+ 80	730	1000	...	...	SSO. 1	0,78	7,7	— 4,0	138,7
2	724,22	— 1,94	+ 2,84	— 3,95	0,0	+ 6,7	4,14	—2,15	759	— 75	500	1000	...	...	NNE. 1	0,47	7,7	— 3,8	137,4
3	727,14	+ 0 99	+ 1,97	— 4,64	— 2,4	+ 6,5	3,31	—2,91	646	—189	420	780	...	...	NNE. 1	0,52	...	.....	137,0
4	722,37	— 3,79	+ 2,17	— 4,27	— 2,2	+ 9,0	3,87	—2,27	733	—102	500	880	...	...	SSO. 1	0,32	8,6	— 2,7	135,5
5	716,31	— 9,85	+ 1,03	— 5,23	— 0,9	+ 6,8	4,37	—1,70	893	+ 57	580	990	3,7	4	SSO. 1	0,77	9,8	— 1,3	135,3
6	716,73	— 9,43	+ 1,24	— 4,85	— 1,4	+ 4,0	4,02	—1,98	807	— 29	670	970	...	...	SSO. 1	0,91	9,7	— 1,3	133,5
7	721,65	— 4,52	+ 2,99	— 2,93	— 0,1	+ 6,2	4,04	—1,89	723	—114	650	850	1,2	2	SSO. 1	0,71	9,6	— 1,3	133,4
8	725,62	— 0,56	+ 3,54	— 2,20	— 1,9	+ 8,3	3,78	—2,08	658	—179	450	930	...	...	SSO. 2	0,37	9,6	— 1,1	132,1
9	730,83	+ 4,64	+ 3,08	— 2,49	— 0,3	+ 7,2	3,46	—2,33	624	—214	450	750	4,7	7	SO. 2	0,49	7,3	— 3,3	129,9
10	729,51	+ 3,31	+ 1,58	— 3,82	— 3,8	+ 9,0	3,45	—2,27	693	—145	500	970	...	...	SO. 1	0,21	..	.....	132,0
11	721,43	— 4,78	+ 5,97	+ 0,73	+ 2,2	+ 7,9	5,44	—0,21	783	— 56	500	920	12,4	10	SSO. 3	0,99	7,2	— 3,1	129,0
12	720,77	— 5,45	+ 5,47	+ 0,40	+ 1,7	+10,9	4,79	—0,80	727	—112	470	820	...	...	SSO. 2	0,19	6,7	— 3,5	129,5
13	712,96	—13,28	+ 1,38	— 3,53	— 2,6	+ 5,4	4,43	—1,09	862	+ 22	650	990	1,7	2	SSO. 2	0,89	6,5	— 3,6	131,0
14	714,02	—12,23	+ 3,07	— 1,67	+ 0,1	+ 7,9	3,99	—1,47	721	—119	490	860	1,9	5	SO. 1	0,80	6,2	— 3,8	133,0
15	717,38	— 8,89	+ 3,78	— 0,80	+ 2,1	+ 6,4	4,65	—0,75	788	— 53	540	920	1,8	3	SSO. 2	0,84	5,9	— 3,9	126,8
16	717,80	— 8,49	+ 5,91	+ 1,49	+ 2,0	+10,5	4,33	—1,01	640	—201	430	750	...	...	SO. 1	0,30	6,6	— 3,1	128,5
17	719,95	— 6,36	+ 5,68	+ 1,42	+ 3,8	+ 9,7	4,81	—0,47	726	—116	440	880	...	...	S. 1	0,83	...	.....	127,5
18	722,97	— 3,37	+ 4,07	— 0,03	+ 2,0	+ 6,1	5,20	—0,02	852	+ 10	720	950	...	...	NNE. 1	0,97	6,2	— 3,2	128,7
19	726,19	— 0,17	+ 2,63	— 1,32	+ 1,8	+ 4,3	4,35	—0,81	796	— 47	730	810	...	...	NNE. 2	1,00	6,0	— 3,3	127,2
20	727,13	— 0,26	+ 3,13	— 0,66	+ 2,8	+ 3,9	4,61	—0,49	819	— 24	770	830	...	...	NNE. 2	1,00	6,3	— 2,9	129,9
21	723,36	— 3,05	+ 3,01	— 0,63	+ 2,2	+ 4,6	4,53	—0,52	825	— 19	660	880	0,4	2	SSO. 1	1,00	7,3	— 1,8	125,3
22	725,38	— 1,06	+ 2,38	— 1,11	+ 1,1	+ 4,3	4,68	—0,31	870	+ 25	760	960	0,8	4	variable	0,89	7,4	— 1,6	126,7
23	727,75	+ 1,28	+ 0,82	— 2,52	— 1,2	+ 4,0	4,15	—0,79	859	+ 14	760	990	...	...	E. 1	0,93	7,6	— 1,2	123,8
24	726,43	— 0,07	+ 1,33	— 1,87	— 1,0	+ 3,4	4,50	—0,39	882	+ 36	800	920	...	...	variable	0,93	...	.....	126,0
25	720,70	— 5,83	+ 5,03	+ 1,97	+ 1,0	+ 9,7	5,91	+1,07	892	+ 45	680	980	2,4	3	variable	0,81	7,7	— 0,9	121,4
26	718,77	— 7,80	+ 6,81	+ 3,89	+ 5,1	+ 9,8	4,47	—0,32	984	+137	950	1000	8,8	10	variable	0,93	8,0	— 0,5	127,7
27	715,25	—11,35	+ 6,01	+ 3,23	+ 4,9	+10,1	6,94	+2,19	971	+123	870	1000	3,6	2	id.	0,88	8,1	— 0,3	129,8
28	715,50	—11,14	+ 6,66	+ 4,02	+ 6,2	+ 9,1	6,93	+2,23	934	+ 86	830	1000	6,8	11	id.	0,96	8,2	— 0,1	126,0
29	720,03	— 6,64	+ 4,85	+ 2,34	+ 3,0	+ 8,5	4,98	+0,32	784	— 65	640	880	...	...	SSO. 1	0,60	7,9	— 0,2	128,5
30	725,21	— 1,50	+ 2,80	+ 0,42	— 0,8	+ 7,2	4,09	—0,53	747	—103	590	860	...	...	variable	0,67	7,7	— 0,4	129,5

MOYENNES DU MOIS DE NOVEMBRE 1878.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
Baromètre.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	723,94	724,50	724,61	724,16	723,81	723,86	723,95	723,85	723,67
2e »	720,22	720,74	720,87	720,40	719,77	719,64	719,71	720,00	720,13
3e »	722,00	722,32	722,57	721,91	721,51	721,63	721,91	722,19	722,39
Mois	722,04	722,52	722,68	722,16	721,70	721,71	721,86	722,01	722,06
Température.									
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	— 0,37	+ 0,49	+ 3,19	+ 5,18	+ 5,76	+ 4,16	+ 2,77	+ 2,16	+ 1,93
2e »	+ 2,73	+ 3,21	+ 5,16	+ 5,98	+ 6,42	+ 5,47	+ 4,45	+ 4,12	+ 3,75
3e »	+ 3,07	+ 3,15	+ 3,93	+ 5,61	+ 5,67	+ 5,26	+ 4,68	+ 4,18	+ 3,64
Mois	+ 1,81	+ 2,28	+ 4,09	+ 5,59	+ 5,95	+ 4,96	+ 3,97	+ 4,49	+ 3,11
Tension de la vapeur.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	4,00	4,21	4,16	4,01	4,00	3,71	3,69	3,91	3,86
2e »	4,38	4,48	4,98	4,78	4,43	4,79	4,74	4,92	4,73
3e »	5,42	5,26	5,40	5,64	5,50	5,59	5,40	5,41	5,42
Mois	4,60	4,65	4,84	4,81	4,64	4,69	4,61	4,75	4,67
Fraction de saturation en millièmes.									
1re décade	896	885	726	619	591	612	667	726	737
2e »	789	778	757	693	628	714	754	797	789
3e »	935	899	877	821	791	819	834	854	895
Mois	873	854	787	711	670	715	752	792	807

	Therm. min.	Therm. max.	Clarté moy. du Ciel.	Température du Rhône.	Eau de pluie ou de neige.	Limnimètre.
	0	0		0	mm	cm
1re décade	— 1,46	+ 7,01	0,55	+ 8,75	9,6	134,5
2e »	+ 1,59	+ 7,30	0,78	+ 6,40	18,8	129,1
3e »	+ 2,05	+ 7,07	0,86	+ 7,77	22,8	126,5
Mois	+ 0,73	+ 7,14	0,73	+ 7,60	51,2	130,0

Dans ce mois, l'air a été calme 0,7 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 0,38 à 100.

La direction de la résultante de tous les vents observés est S. 17°,5 O., et son intensité est égale à 44,51 sur 100.

TABLEAU

DES

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU GRAND SAINT-BERNARD

pendant

LE MOIS DE NOVEMBRE 1878.

Le 2, quelques flocons de neige le matin, forte bise, brouillard par moments.
3, brouillard tout le jour par une très-forte bise.
5, neige et brouillard.
6, neige et brouillard par une forte bise jusqu'à 6 h. du soir.
7, neige et brouillard jusqu'à 11 h. du matin, puis clair.
9, neige dans la nuit et le matin; brouillard jusqu'au soir; forte bise.
11, neige pendant presque tout le jour, mais peu abondante.
13, brouillard, neige, très fort vent du SO.
14, brouillard une partie du jour.
15, idem.
16, neige et brouillard presque tout le jour.
17, la neige marquée pour ce jour est tombée dans la nuit du 16 au 17.
18, neige et brouillard presque tout le jour.
19, brouillard tout le jour; forte bise.
20, brouillard et neige tout le jour.
21, brouillard le matin, neige le soir.
22, brouillard jusqu'au soir, par une forte bise.
25, neige le matin, mais en quantité insensible; brouillard et fort vent du SO.
26, neige très-abondante depuis la veille au soir jusqu'à midi; brouillard, fort vent du SO.
27, brouillard, neige et très-fort vent du SO. presque tout le jour.
28, id. id.
29, brouillard intense tout le jour.
30, brouillard presque tout le jour.

Valeurs extrêmes de la pression atmosphérique.

MAXIMUM	mm	MINIMUM.	mm
Le 1er à 8 h. matin	560,13	Le 2 à 10 h. soir	556,17
3 à 8 h. soir	558,26	6 à 6 h. matin	549,92
9 à 10 h. soir	565,26	14 à 10 h. soir	548,27
20 à 8 h. matin	563,78	22 à 6 h. matin	557,44
24 à 10 h. matin	564,59	28 à 2 h. après midi	555,01
30 à 10 h. matin	558,31		

Jours du mois.	Baromètre. Hauteur moy. des 24 heures.	Baromètre. Écart avec la hauteur normale.	Baromètre. Minimum.	Baromètre. Maximum.	Température C. Moyenne des 24 heures.	Température C. Écart avec la température normale.	Température C. Minimum*	Température C. Maximum*	Pluie ou neige. Hauteur de la neige.	Pluie ou neige. Eau tombée dans les 24 h.	Pluie ou neige. Nombre d'heures.	Vent dominant.		Clarté moyenne du Ciel.
	millim.	millim.	millim.	millim.	o	o	o	o	millim.	millim.				
1	559,60	— 3,70	559,15	560,13	—10,06	— 6,90	—13,3	— 6,4	.....	.....	....	SO.	1	0,45
2	556,56	— 6,67	556,17	557,29	—11,56	— 8,26	—12,8	—10,2	.....	.....	....	NE.	3	0,59
3	557,40	— 5,76	556,61	558,26	—13,22	— 9,78	—14,5	—10,2	.....	.....	....	NE.	2	0,80
4	555,88	— 7,22	554,36	557,84	—11,48	— 7,90	—14,5	— 7,8	.....	.....	....	NE.	1	0,06
5	551,34	—11,70	550,77	552,30	—10,99	— 7,27	—12,8	— 7,0	40	2,9	....	NE.	1	0,52
6	550,56	—12,42	549,92	551,37	—13,15	— 9,29	—15,8	—10,3	80	6,8	....	NE.	2	0,73
7	555,19	— 7,73	552,64	557,64	—12,47	— 8,48	—13,4	—10,3	90	7,4	....	NE.	1	0,39
8	558,93	— 3,93	558,53	559,25	—10,96	— 6,84	—14,2	— 8,2	.....	.....	....	SO.	1	0,06
9	561,77	— 1,03	558,53	565,26	—12,46	— 8,21	—13,5	—11,3	100	7,9	....	NE.	2	0,91
10	564,43	+ 1,68	563,51	565,20	— 4,88	— 0,50	— 8,4	— 1,9	.....	.....	....	SO.	1	0,13
11	559,71	— 2,99	558,51	562,10	— 9,41	— 4,90	—11,0	— 8,2	100	7,6	....	SO.	1	0,96
12	557,11	— 5,54	556,64	557,58	— 8,94	— 4,29	—10,8	— 7,0	.....	.....	....	SO.	1	0,27
13	552,58	—10,02	550,37	554,89	— 8,12	— 3,34	— 9,5	— 6,5	60	4,1	....	SO.	3	1,00
14	549,49	—13,06	548,27	551,45	—10,77	— 5,87	—12,3	— 8,0	.....	.....	....	variable		0,85
15	553,68	— 8,82	551,02	555,56	—10,24	— 5,22	—10,9	— 8,4	.....	.....	....	NE.	1	0,58
16	555,39	— 7,07	555,24	555,79	— 9,28	— 4,14	—11,2	— 8,3	80	6,8	....	SO.	1	0,93
17	556,65	— 5,77	555,42	557,83	— 9,25	— 3,99	—10,8	— 7,3	100	12,1	....	NE.	1	0,37
18	558,97	— 3,41	557,82	560,06	— 8,46	— 3,08	— 9,3	— 7,3	18	5,8	....	SO.	2	0,96
19	562,26	— 0,08	560,75	563,38	— 6,18	— 0,69	— 7,9	— 5,0	....	.....	....	NE.	2	0,91
20	562,36	+ 0,06	560,36	563,78	— 4,22	+ 1,38	— 4,4	— 2,8	150	12,2	....	SO.	1	0,98
21	558,90	— 3,36	558,32	559,35	— 6,08	— 0,37	— 6,3	— 5,0	100	7,2	....	SO.	1	0,98
22	558,50	— 3,73	557,44	560,22	—10,35	— 4,53	—10,8	— 9,7	.....	.....	....	NE.	2	0,81
23	563,10	+ 0,91	561,70	564,33	— 6,90	— 0,97	— 8,3	— 5,2	.....	.....	....	NE.	1	0,01
24	564,23	+ 2,08	564,05	564,59	— 5,96	+ 0,07	— 6,7	— 4,4	.....	.....	....	SO.	1	0,84
25	563,08	+ 0,96	562,76	563,45	— 5,34	+ 0,79	— 6,2	— 4,4	.....	.....	....	SO.	2	0,99
26	561,23	— 0,86	561,01	561,54	— 2,94	+ 3,29	— 3,2	— 2,3	280	20,4	....	SO.	2	1,00
27	558,13	— 3,93	556,41	560,34	— 2,11	+ 4,22	— 2,3	— 1,0	100	10,0	....	SO.	2	1,00
28	555,79	— 6,24	555,01	557,04	— 2,89	+ 3,54	— 4,1	— 1,9	120	14,2	....	SO.	2	1,00
29	555,95	— 6,05	555,53	557,09	— 7,15	— 0,62	— 8,8	— 5,8	.....	.....	....	SO.	1	1,00
30	557,92	— 4,05	557,76	558,31	—10,95	— 4,32	—11,9	— 9,3	.....	.....	....	NE.	1	0,86

* Ces colonnes renferment la plus basse et la plus élevée des températures observées de 6 h. matin à 10 h. soir.

MOYENNES DU MOIS DE NOVEMBRE 1878.

	6 h. m.	8 h. m.	10 h. m.	Midi.	2 h. s.	4 h. s.	6 h. s.	8 h. s.	10 h. s.
Baromètre.									
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re décade	556,80	556,94	557 01	557,06	557,22	557,31	557,52	557,60	557,61
2e »	557,02	557,22	557,31	557,05	556,76	556,67	556,68	556,68	556,64
3e »	559,83	559,92	559,84	559,68	559,42	559,43	559,71	559,90	560,00
Mois	557,88	558,03	558,05	557,93	557,80	557,81	557,97	558,04	558,09
Température.									
	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1re décade	—12,25	—11,74	—10,75	— 9,30	— 8,59	—10,04	—11,16	—11,75	—12,00
2e »	— 8,77	— 8,93	— 8,17	— 7,37	— 7,40	— 8,02	— 8,52	— 8,29	— 8,39
3e »	— 6,03	— 5.82	— 5,49	— 4,98	— 5,21	— 5,80	— 6,26	— 6,17	— 6,33
Mois	— 9,02	— 8,83	— 8,14	— 7,22	— 7,07	— 7,95	— 8,65	— 8,74	— 8,91

	Min. observé.	Max. observé.	Clarté moyenne du ciel.	Eau de pluie ou de neige.	Hauteur de la neige tombée.
	0	0		mm	mm
1re décade	—13,32	— 8,36	0,46	25,0	310
2e »	— 9,81	— 6,88	0,78	48,6	570
3e »	— 6,86	— 4,90	0,85	51,8	600
Mois	—10,00	— 6,71	0,70	125,4	1480

Dans ce mois, l'air a été calme 0,0 fois sur 100.

Le rapport des vents du NE. à ceux du SO. a été celui de 0,79 à 1,00.

La direction de la résultante de tous les vents observés est S. 45° O., et son intensité est égale à 17,4 sur 100.

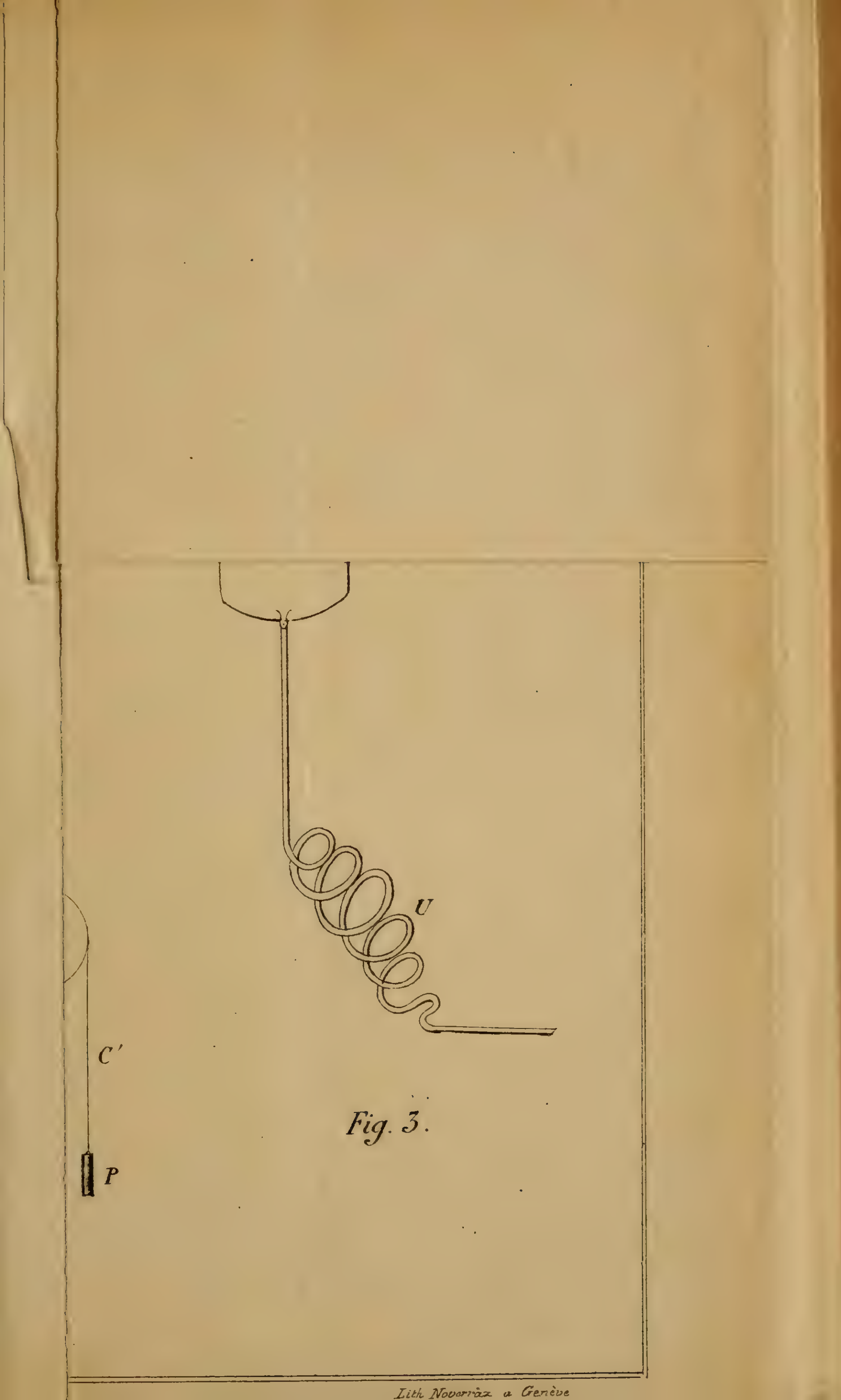


Fig. 3.

Lith. Noverraz a Genève

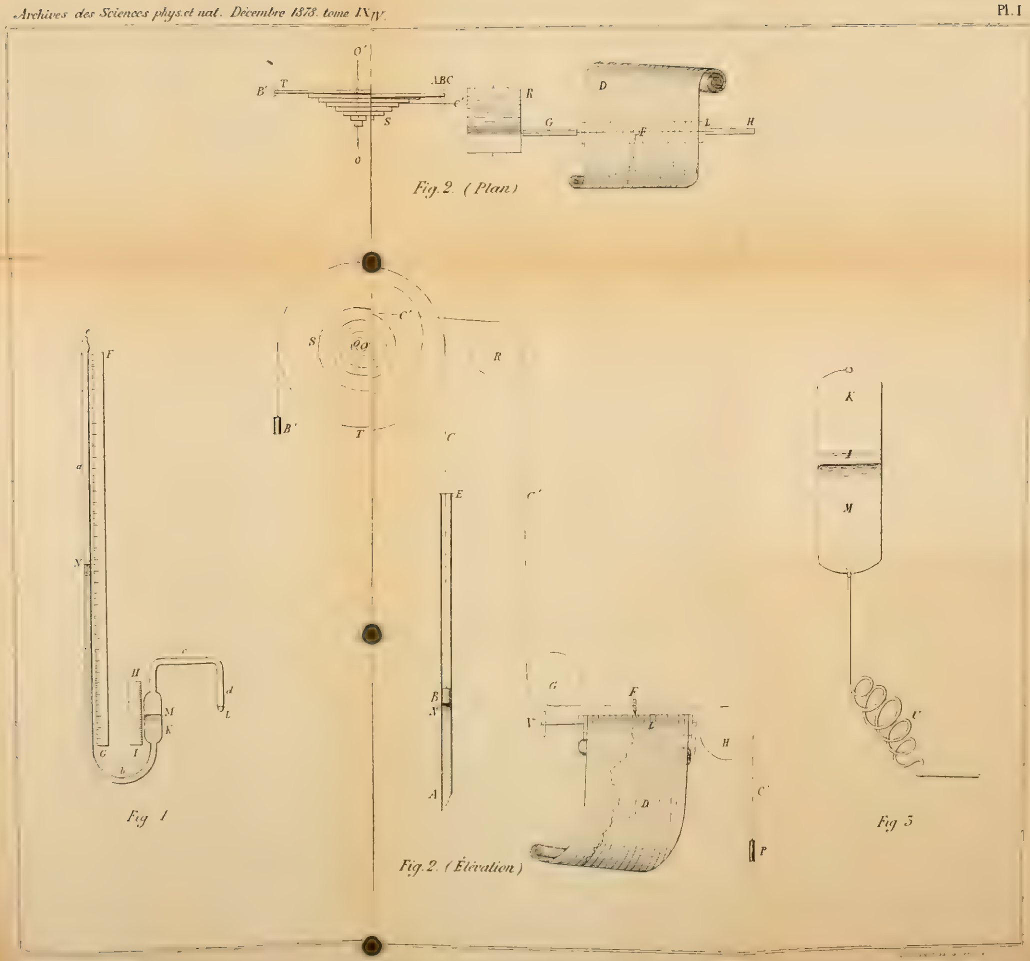


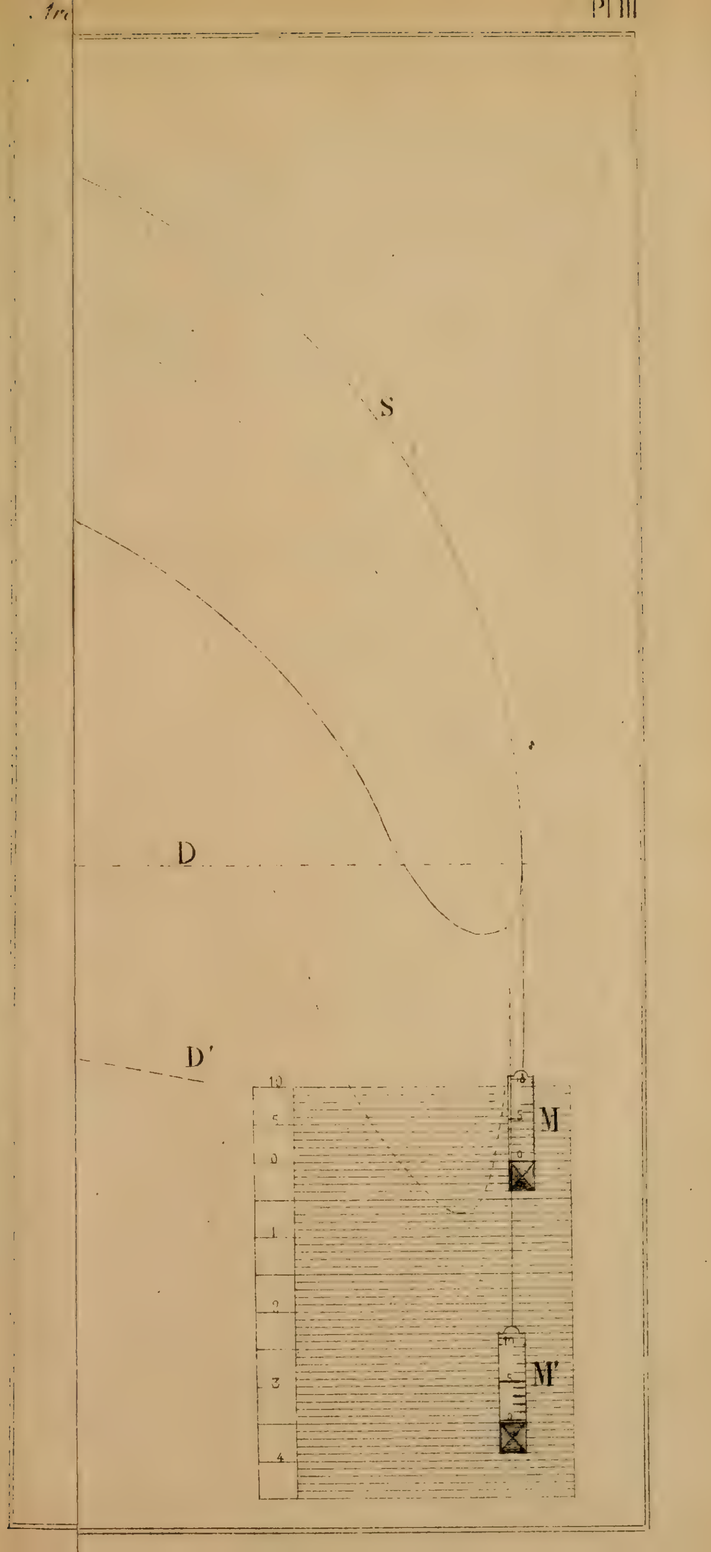
Fig. 1

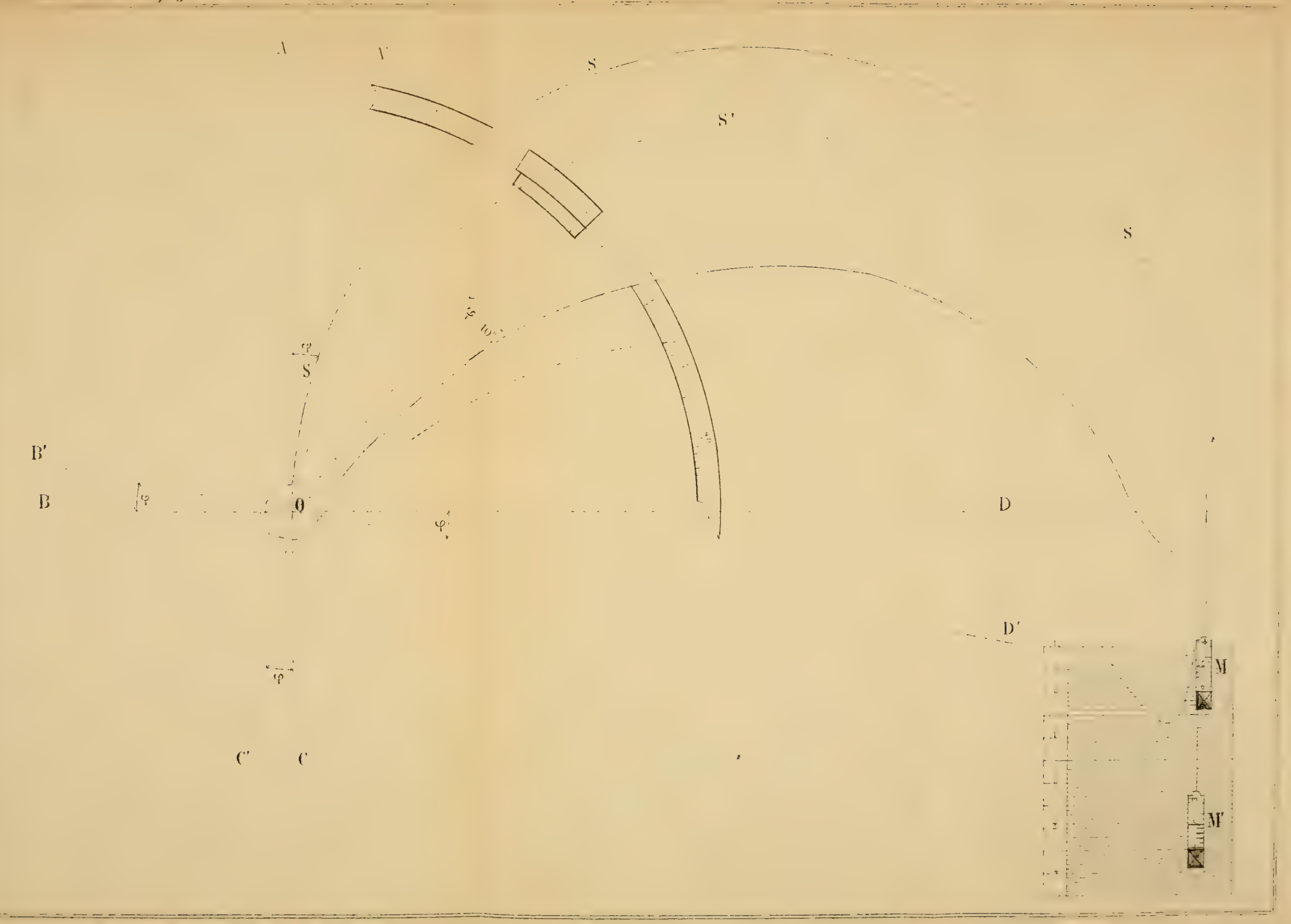
Fig. 2. (Plan)

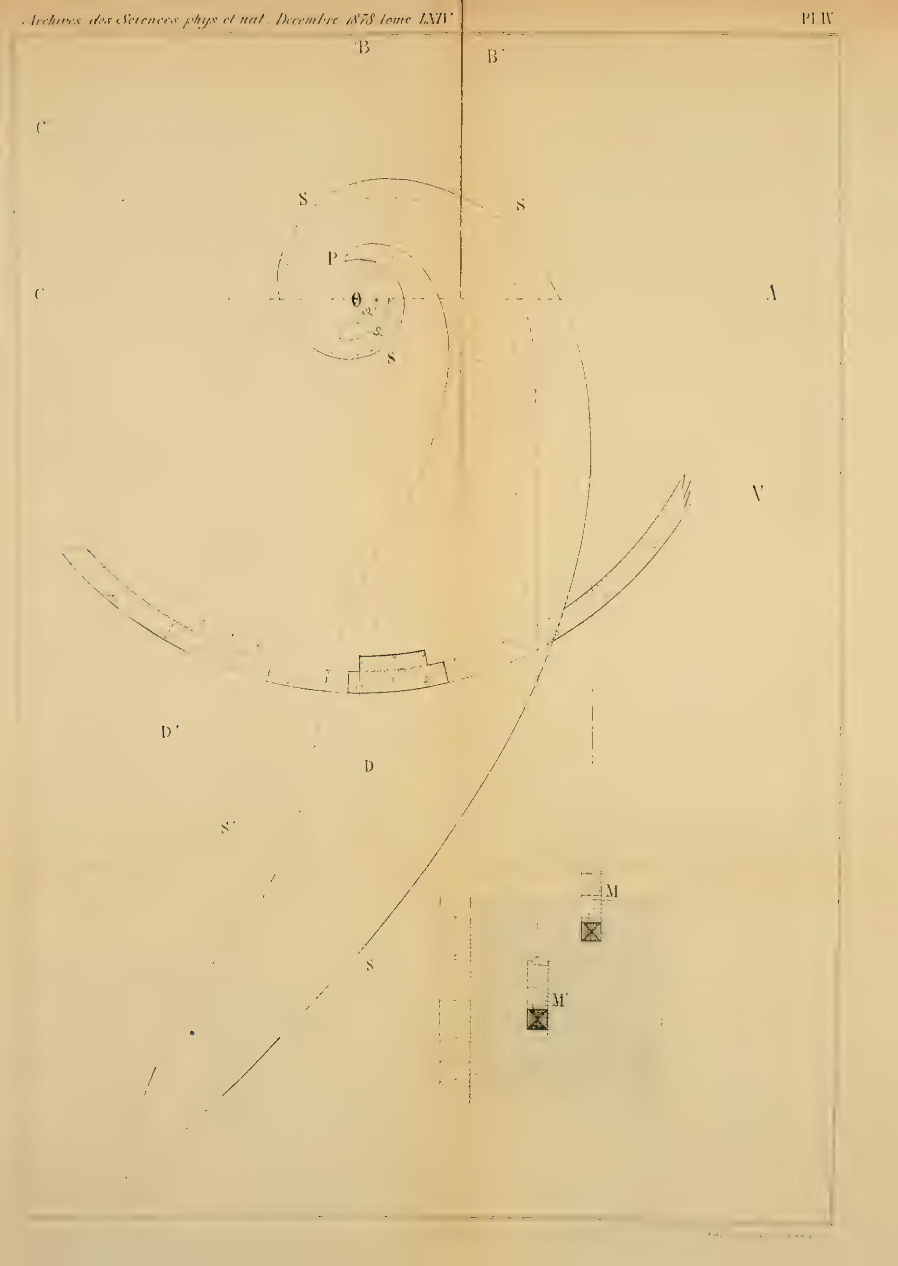
Fig. 2. (Élévation)

Fig. 3


A
A'
B'
φ 10°
φ
φ
O
B
D
D'
C'
C
M
M


S
D
D'
M
M'
10
5
0
1
2
3
4


A
V
S
S'
S
S
B'
B
O
φ
D
D'
C'
C
M
M'


B
B'
C'
S
S
P
C
θ
A
S
V
D'
D
S'
S
M
M'

Pl. V.

P20

5

P10

0

P0

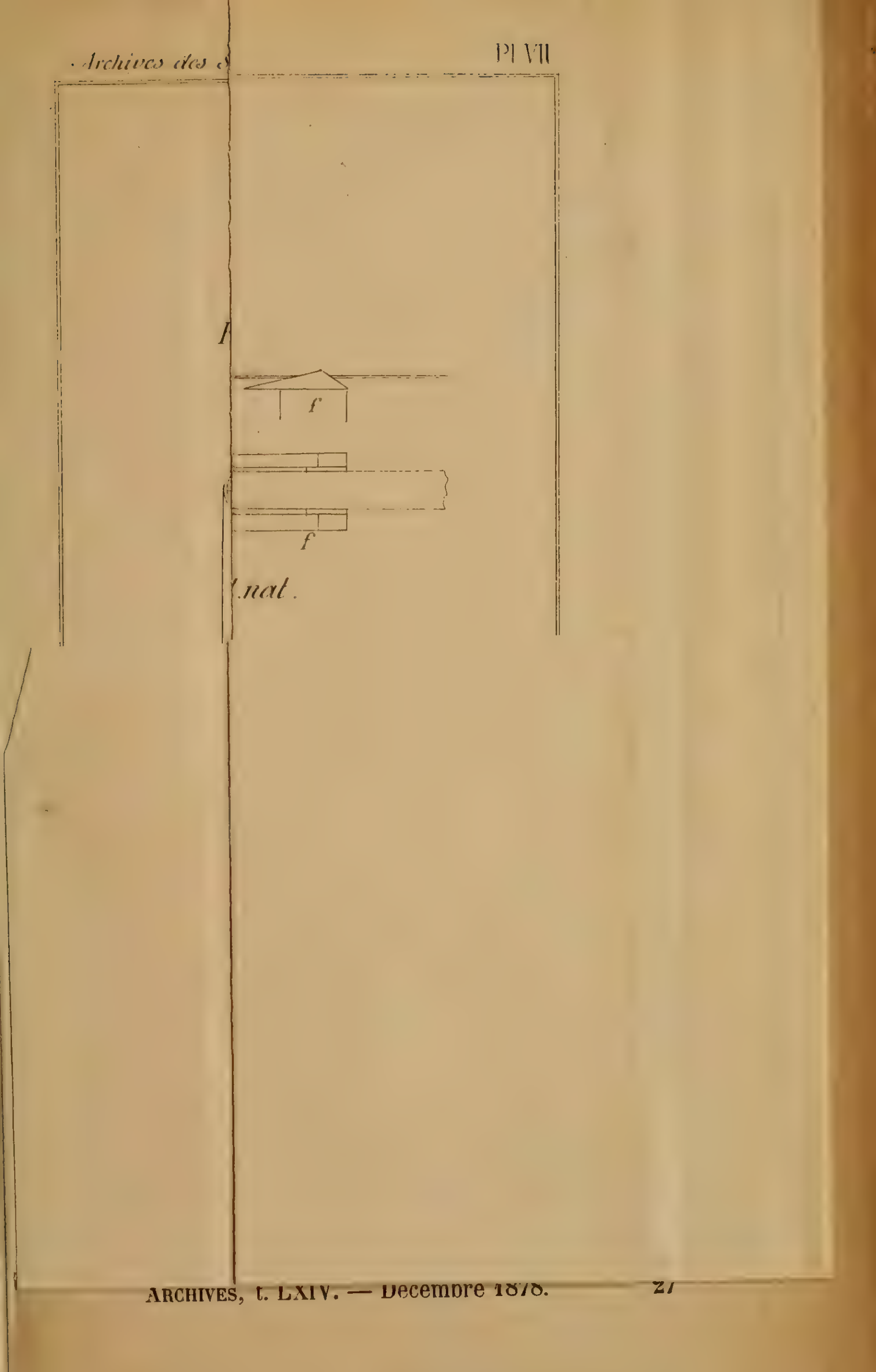
Degrés

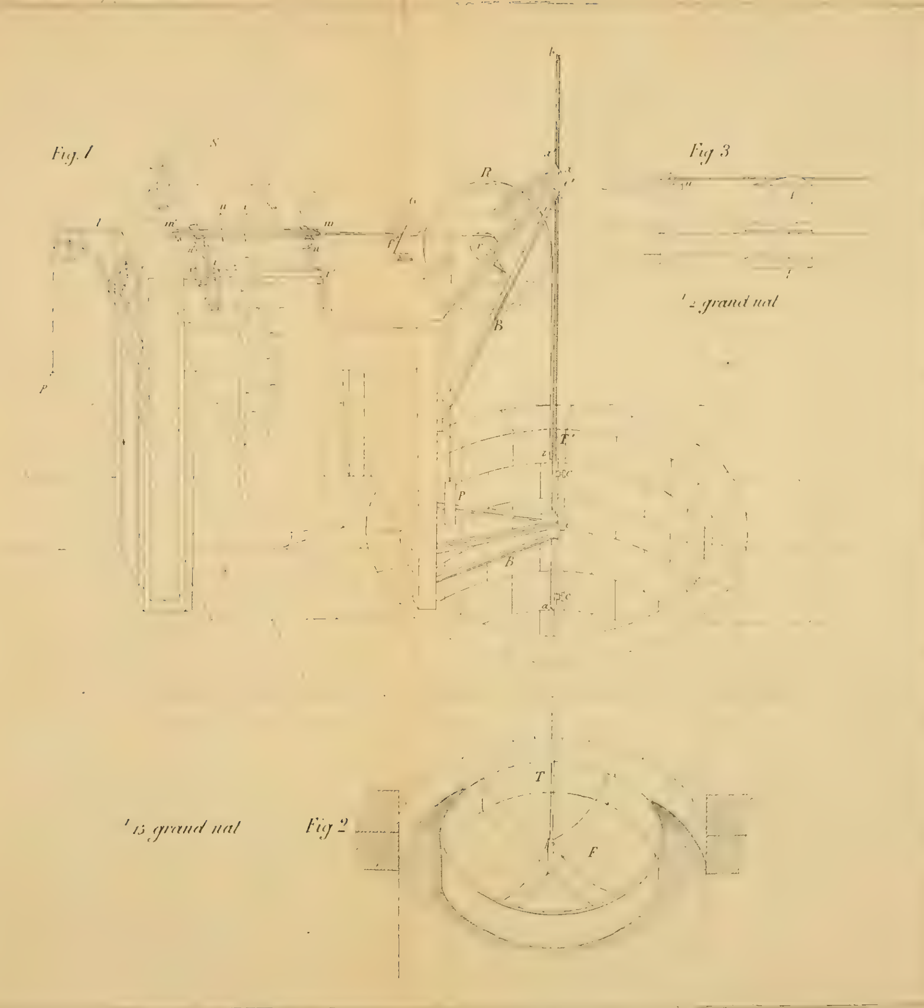
Centimètres

P 60
P 50
P 70
P 80
P 40
P 90
S
15
P 30
P 100
20
10
P 110
P 20
25
P 120
5
P 10
P 130
P 140
30
P 150
P 160
P 170
O P 180
0
Po
Degrés
Centimètres


D'

A φ A'
B'
B
φ
O
φ
D
D'
φ-10
φ
S'
S
M' M
C'
C
S
S'


Archives des S
Pl VII
f
f
1 nat.


Fig. 1
S
R
B
P
B
T
Fig 3
1/2 grand nat
1/15 grand nat
Fig 2
T
F

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME LXIV (NOUVELLE PÉRIODE)

1878. — Nos 250 à 252.

Pages

BULLETIN SCIENTIFIQUE

ASTRONOMIE.

PHYSIQUE.

CHIMIE.

ZOOLOGIE.

BOTANIQUE.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

faites à Genève et au Grand Saint-Bernard.

TABLE DES AUTEURS

POUR LES

ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

SUPPLÉMENT

A LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

ANNÉE 1878. Tomes LXI à LXIV (Nouvelle période)

H

J

K

N

U

V

W

Y

Z

